



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**RANCANG BANGUN SISTEM RADAR OFDM
BERBASIS SDR (*SOFTWARE DEFINED RADIO*)**

Rizky Hidayat Prasetyo
NRP 2211 100 084

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN IMPLEMENTATION OF SDR-BASED
OFDM RADAR SYSTEM**

Rizky Hidayat Prasetyo
NRP 2211 100 128

Supervisor
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016


**RANCANG BANGUN SISTEM RADAR OFDM BERBASIS SDR
(SOFTWARE-DEFINED RADIO)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing,


Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D.

Nip : 197011111993031002

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

Rancang Bangun Sistem Radar OFDM Berbasis SDR (Software-Defined Radio)

Rizky Hidayat Prasetyo
2211100084

Dosen Pembimbing: Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.

ABSTRAK

Pengembangan berbagai jenis radar diperlukan untuk memenuhi kebutuhan akan radar yang semakin beragam pula. Sistem radar dengan menggunakan teknik sinyal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) memungkinkan terjadinya penginderaan radar dan fungsi komunikasi lain dalam satu sistem secara bersamaan. Hal ini memberi peluang untuk melakukan fungsi radar terhadap target jamak. Selain itu dengan menggunakan teknik sinyal OFDM yang sensitif terhadap pergeseran frekuensi Doppler juga memberi peluang untuk mengukur kelajuan target dengan lebih baik.

Pada tugas akhir ini telah dilakukan perancangan sistem radar OFDM dengan basis SDR, lebih tepatnya dengan menggunakan USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) 2922. Mengenai metode pemrosesan yang dipakai adalah metode pemrosesan berdasarkan simbol dengan periodogram. Hal ini dipilih karena komputasinya lebih cepat dan sidelobe yang dihasilkan kecil. Didapatkan hasil simulasi bahwa radar dengan teknik sinyal OFDM dapat mengukur jarak dan kelajuan target hingga 8 target. Namun dalam pengimplementasian sistem radar OFDM pada USRP 2922 sulit dilakukan karena keterbatasan perangkat.

Kata kunci: radar, OFDM, SDR, USRP

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Design Implementation of SDR-Based OFDM Radar System

Rizky Hidayat Prasetyo
2211100084

Supervisor: Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.

ABSTRACT

The development of various types of radars increasingly diverse. The radar system using OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) signal technique allows the sensing radar and other communication functions in one system simultaneously. This gives the opportunity to perform the radar for multiple targets. In addition, by using OFDM signal technique that is sensitive to the Doppler frequency shift also provides the opportunity to measure the speed of the target better.

In this final project was to design a radar system with OFDM based on SDR, more precisely by using USRP (Universal Software Radio Peripheral). Regarding the processing method, it used the processing method based on symbol with periodogram. This was chosen because of the faster computation and the small lobes resulted. Simulation showed that the OFDM signal technique can measure the distance and speed of the target to the number of 8 targets. However, in the implementation of OFDM radar system in 2922 USRP difficult because of the limitations of the device.

Keyword : radar, OFDM, SDR, USRP

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia – Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Radar OFDM Berbasis SDR (Software Defined Radio)”** ini. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Strata – 1 pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penyusunan buku ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Bapak Subardi (Alm) dan Ibu Sri Sujadmi, Mas Wicaksono, Mbak Kusuma Wardani, Mas Aryo Nugroho yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Professor Gamantyo Hendranto dan Ibu Devy Kuswidiastuti selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ibu dosen pengajar dan para karyawan Teknik Elektro ITS
4. Rekan-rekan Teknik Elektro, terutama e51, e52 dan LJ atas segala motivasi yang selalu diberikan
5. Rekan-rekan Keputih Galaxy, Semampir, Suteng, GPU, Gamasura, SG-10; Ibnu, Kharis, Bimo, Afif, Fani, Puja, Septian, Shoging, Dinar, Tia, Isna, Adi, Zaki, Pambudi, dan seterusnya
6. Rekan-rekan seperjuangan Dika, Radit, mas Nurman, mbak Tania, mbak Ranita, mbak Dita, Ayak, Oni, Nazmi, Hasrul, Vigor, Candra, Naufal, Didit, Rusli, Jojo, Oik, Septian, Ketut, Rakhmat, Hizrian, Antok, Jojo, Allen, Febra, Luthfi, Uki, Maria, Luqman, Ikang, Fadli, Amal, Dayat, Jofre, dan seterusnya
7. Serta semua pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya

Surabaya, Januari 2015

Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
 BAB 1	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.5.1 Studi Literatur	2
1.5.2 Perancangan dan Desain Sistem Radar OFDM	3
1.5.3 Simulasi Sistem Radar OFDM	3
1.5.4 Implementasi Desain pada Platform berbasis SDR	3
1.5.5 Eksperimen dan Pengukuran Radar OFDM Berbasis SDR	3
1.5.6 Analisis Data	4
1.5.7 Penarikan Kesimpulan.....	4
1.6 Sistematika Pembahasan	4
1.7 Relevansi.....	5
 BAB 2	 7
2.1 Radar	7
2.1.1 Konsep Radar	7
2.1.2 Macam Radar	8
2.1.3 Parameter Umum Radar	8
2.2 Modulasi QPSK	9
2.3 <i>PN Sequence</i>	10
2.4 Teknik Sinyal OFDM.....	10
2.4.1 IFFT/FFT	11
2.4.2 Cyclic Prefix.....	12
2.5 Radar OFDM [6].....	12

2.5.1	Frekuensi Doppler dan Spasi Frekuensi AntarSubcarrier	13
2.5.2	Jarak Maksimal dan Resolusi Jarak	13
2.5.3	Kelajuan Maksimal dan Resolusi Kelajuan	13
2.6	Metode Pemrosesan Berdasarkan Simbol dengan Periodogram [7][8][9].....	14
2.7	Kesalahan Pengukuran Radar	14
2.8	SDR (Software Defined Radio)	14
2.9	USRP (Universal Software Radio Peripheral)	15
2.9.1	Daughterboard USRP.....	16
2.9.2	Bandwidth USRP.....	17
2.9.3	USRP NI 2922	18
2.9.4	Daya Pancar USRP	19
2.10	LabVIEW.....	20
2.11	<i>Test Data Exchange Stream</i> (TDMS).....	20

BAB 3	21
3.1 Pemodelan Sistem.....	21
3.2 Parameter Perancangan Sistem Radar OFDM	23
3.3 Pemodelan Simulasi Sistem.....	25
3.3.1 Pembangkitan Bit Informasi	26
3.3.2 Modulasi	26
3.3.3 IFFT	27
3.3.4 Penambahan Cyclic Prefix	27
3.3.5 Pemodelan Target dan AWGN Receiver	28
3.3.6 Penghapusan CP	29
3.3.7 FFT	30
3.3.8 Demodulasi	30
3.4 Skema Pengukuran	30
3.4.1 Konfigurasi Perangkat	30
3.4.1.1 Perangkat Lunak	30
3.4.1.2 Perangkat Keras	31
3.4.2 Medan Pengukuran	33
3.4.3 Perhitungan Link Budget	34
3.4.4 Perancangan Sistem	36
3.4.4.1 Sub Sistem Pengirim	36
3.4.4.2 Sub Sistem Penerima.....	36
3.4.4.3 Sub Sistem Pengaturan Waktu dan sinkronisasi	37
3.4.4.4 Sub Sistem Pengolahan Sinyal	38

BAB 4	41
4.1 Kemampuan Radar dalam Mengukur Jarak dan Kelajuan Target (Pada Simulasi)	41
4.2 Kemampuan Radar Mendeteksi Kelajuan (Pada Simulasi) ..	43
4.3 Kemampuan Radar dalam Mengukur Jarak dan Kelajuan Target Jamak	45
4.4 Pembangkitan Sinyal OFDM	46
4.5 Kemampuan Radar Mendeteksi Jarak (Pengukuran)	46
4.6 Kemampuan Radar Mendeteksi Kelajuan (Pengukuran)	51
BAB 5	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1	Ilustrasi Cara Kerja Radar	7
Gambar	2.2	Konstelasi Sinyal QPSK	9
Gambar	2.3	Ilustrasi Sinyal OFDM dengan Delapan Subcarrier ($N_c=8$)	11
Gambar	2.4	Ilustrasi Cyclic Prefix	12
Gambar	2.5	Diagram blok SDR USRP	15
Gambar	2.6	Bandwidth dari masing-masing Daughterboard	16
Gambar	3.1	Blok Diagram Sistem Radar OFDM	22
Gambar	3.2	Blok Diagram Parameter Sistem Radar OFDM	23
Gambar	3.3	Pembangkitan PN Sequence	26
Gambar	3.4	Blok Modulasi QPSK	27
Gambar	3.5	Blok Diagram IFFT	27
Gambar	3.6	Blok Diagram Penambahan Cyclic Prefix	28
Gambar	3.7	Pemodelan Frequency Doppler untuk Kelajuan Target	28
Gambar	3.8	Pemodelan Pemodelan Delay untuk Jarak Target	28
Gambar	3.9	Penambahan AWGN	29
Gambar	3.10	Penghapusan Cyclic Prefix	29
Gambar	3.11	Operasi FFT	30
Gambar	3.12	Demodulasi QPSK	30
Gambar	3.13	Konfigurasi Perangkat	32
Gambar	3.14	Lokasi Pengukuran di Teknik Elektro ITS	33
Gambar	3.15	Lokasi Pengukuran di Taman Alumni ITS	34
Gambar	3.16	Perhitungan Link Budget	35
Gambar	3.17	Sub sistem pengirim	36
Gambar	3.18	Sub sistem penerima	37
Gambar	3.19	Sub sistem pengaturan waktu dan sinkronisasi	37

Gambar	3.20	Subsistem Pengolahan Sinyal	39
Gambar	4.1	Hasil Deteksi Jarak pada Simulasi	42
Gambar	4.2	Hasil Deteksi Kelajuan pada Simulasi	45
Gambar	4.3	Hasil Pembacaan Target Jamak	46
Gambar	4.4	Spektrum sinyal OFDM terbangkitkan	46
Gambar	4.5	Pengambilan Data Pertama	47
Gambar	4.6	Pengambilan Data Kedua (kiri) dan Perkalian Pertama (kanan)	48
Gambar	4.7	Pengambilan Data Ketiga (kiri) dan Perkalian Kedua (kanan)	48
Gambar	4.8	Pengambilan Data Keempat (kiri) dan Perkalian Ketiga (kanan)	48
Gambar	4.9	Pengambilan Data Kelima (kiri) dan Perkalian Keempat (kanan)	49
Gambar	4.10	Pengambilan Data Keenam (kiri) dan Perkalian Kelima (kanan)	49
Gambar	4.11	Pengambilan Data Ketujuh (kiri) dan Perkalian Keenam (kanan)	49
Gambar	4.12	Pengambilan Data Kedelapan (kiri) dan Perkalian Ketujuh (kanan)	50
Gambar	4.13	Pengambilan Data Kesembilan (kiri) dan Perkalian Kedelapan (kanan)	50
Gambar	4.14	Pengambilan Data Kesepuluh (kiri) dan Perkalian Kesembilan/Terakhir (kanan)	50

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1	Spesifikasi <i>bandwidth</i> dan <i>sample rate</i> USRP NI-2922	17
Tabel	2.2	Spesifikasi Rinci NI 2922	18
Tabel	2.3	Daya <i>output</i> USRP NI-2922 pada frekuensi 2,4 GHz dengan variabel <i>gain</i> pancar.	19
Tabel	3.1	Hubungan Bandwidth dan Resolusi Jarak	24
Tabel	3.2	Hubungan Banyak Simbol OFDM dengan Resolusi Kelajuan	25
Tabel	4.1	Hasil Deteksi Jarak Pada Simulasi	41
Tabel	4.2	Hasil Deteksi Kelajuan pada Simulasi	43

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan radar semakin pesat dari tahun ke tahun. Jika dibandingkan dengan beberapa waktu lalu perkembangan aplikasi radar telah sangat berkembang pesat. Perkembangan radar saat ini telah menyebar di berbagai area kehidupan seperti otomotif, pertambangan, otomasi/kontrol, biomedis, dan lain-lain [1].

Saat ini angka kecelakaan kendaraan bermotor masih tinggi sehingga membuat manusia harus memikirkan cara untuk mengurangnya. Sistem transportasi cerdas adalah tuntutan di masa depan. Radar dengan teknik sinyal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) telah menjadi salah satu solusi mengenai permasalahan ini. Dengan konsep radar OFDM ini, dimungkinkan terjadinya fungsi radar untuk mendeteksi target jamak dan fungsi komunikasi secara bersamaan [2]. Hal ini merupakan suatu solusi untuk sistem transportasi cerdas masa depan dimana radar OFDM ini dapat melakukan penginderaan lingkungan (fungsi radar) dan komunikasi ad-hoc antar kendaraan (fungsi komunikasi V2V '*vehicle to vehicle*') yang memungkinkan terjadinya interaksi antar kendaraan [3], sehingga -sebagai contoh- fungsi rem secara otomatis dapat dilakukan oleh kendaraan dan kendaraan tersebut dapat terhindar dari kecelakaan (tabrakan).

Keuntungan lain yang didapatkan dengan memanfaatkan teknik sinyal OFDM dalam aplikasi radar adalah bahwa teknik sinyal OFDM sensitif terhadap pergeseran frekuensi [4]. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk mengukur kelajuan target dengan lebih baik karena dengan sedikit saja ada pergeseran frekuensi maka hal tersebut memberi informasi bahwa ada target yang bergerak. Pergeseran frekuensi sistem radar sama dengan frekuensi Doppler yang dirasakan oleh radar, hal ini memberitahu kelajuan target yang sedang bergerak..

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang diangkat dalam buku ini adalah mengenai penggunaan teknik sinyal OFDM sebagai sinyal radar dan digunakan untuk mendeteksi jarak dan kelajuan target.

1. Bagaimana kinerja radar OFDM hasil desain dalam mengukur jarak target?

2. Bagaimana kinerja radar OFDM hasil desain dalam mengukur kelajuan target?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dikaji dan diuji untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Radar OFDM digunakan untuk mengukur jarak target
2. Radar OFDM digunakan untuk mengukur kelajuan target
3. Radar OFDM tidak digunakan untuk mendeteksi arah target
4. Metode pemrosesan yang dipakai adalah pemrosesan berdasarkan simbol dengan periodogram
5. SDR yang digunakan dalam merancang sistem radar OFDM ini adalah USRP (*Universal Software Radio Peripheral*)

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir yang akan dilakukan adalah seperti disebutkan berikut ini

1. Merancang sistem radar OFDM untuk mengukur jarak target dengan memperhatikan parameter seberapa tinggi resolusi jarak yang dapat dicapai
2. Merancang sistem radar OFDM untuk mengukur kelajuan target dengan memperhatikan parameter seberapa tinggi resolusi kecepatan yang dapat diukur

1.5 Metodologi

Penelitian akan dilakukan dengan melalui beberapa tahap yaitu: Studi Literatur, Perancangan dan Desain Sistem Radar OFDM, Simulasi Sistem Radar OFDM, Implementasi Desain pada Platform Berbasis SDR, Eksperimen dan Pengukuran, Analisis Hasil Pengukuran, Kesimpulan, dan Pembuatan Laporan.

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi baik yang berasal dari jurnal maupun buku. Dimana akan dipelajari lebih dalam mengenai:

- Sistem Radar, menyangkut pengetahuan yang harus diketahui mengenai radar secara umum termasuk parameter-parameternya
- Teknik sinyal OFDM, mempelajari apa yang dimaksud dengan sinyal OFDM, apa saja parameternya, dan bagaimana

pembangunannya

- Radar OFDM, mendalami perkembangan penelitian yang sudah dilakukan mengenai radar yang memanfaatkan teknik sinyal OFDM
- USRP, mempelajari perangkat keras SDR, lebih khususnya USRP
- LabVIEW, mempelajari perangkat lunak SDR, utamanya untuk diimplementasikan ke USRP

1.5.2 Perancangan dan Desain Sistem Radar OFDM

Di bagian ini akan dilakukan perancangan mengenai sistem radar OFDM yang optimum dengan memperhatikan perangkat-perangkat yang ada. Di sini juga dilakukan simulasi mengenai sistem yang dibuat.

1.5.3 Simulasi Sistem Radar OFDM

Di bagian ini dilakukan simulasi sistem radar OFDM dengan perangkat lunak LabVIEW. Parameter yang digunakan menyesuaikan perancangan dan mengacu kepada perangkat yang digunakan.

1.5.4 Implementasi Desain pada Platform berbasis SDR

Pada tahap ini hasil rancangan desain sistem radar diimplementasikan ke dalam SDR. Untuk SDR ini, perangkat lunak yang digunakan adalah LabVIEW karena berbasis sistem operasi Windows, sementara perangkat keras yang digunakan adalah USRP 2922 dan atau USRP N210.

1.5.5 Eksperimen dan Pengukuran Radar OFDM Berbasis SDR

Setelah berhasil mengimplementasikan maka tahap berikutnya adalah melakukan eksperimen dan pengukuran dari sistem yang sudah dibuat. Ada beberapa skenario untuk pengukuran ini. Sebagai permulaan sistem diujikan ke satu target. Apabila sudah benar maka sistem diujikan ke dua target. Dua target yang diuji divariasikan. Pertama, dua target bergerak dengan kelajuan yang sama, dievaluasi apakah keduanya bisa dibedakan. Kedua, dua target bergerak dengan kelajuan yang berbeda, dievaluasi apakah keduanya bisa dibedakan. Setelah semua skenario berhasil baru dioptimalkan resolusi jarak dan resolusi kelajuan sistem radar OFDM yang dibuat

Setelah didapatkan data hasil pengukuran dari eksperimen yang telah dilakukan maka tahap selanjutnya yang harus dilakukan analisis

hasil pengukuran. Sesudah itu dilakukan maka ditariklah kesimpulan. Pada akhirnya, hasil dari semua tahapan yang telah dilakukan dikumpulkan dan disusun dalam bentuk laporan buku tugas akhir.

1.5.6 Analisis Data

Pada bagian ini akan dilakukan analisis dari hasil data yang telah diperoleh. Di bagian ini bisa dibandingkan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Di bagian ini dilakukan analisis juga mengenai penyebab error yang terjadi pada sistem.

1.5.7 Penarikan Kesimpulan

Kemudian dapat dilakukan penarikan kesimpulan mengenai hasil kinerja sistem radar OFDM yang telah dibuat. Selain itu juga dipaparkan saran untuk penelitian berikutnya.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam enam bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tinjauan pustaka yang akan membahas tentang sistem radar, teknik sinyal OFDM, dan perangkat SDR.

BAB III PEMODELAN, PARAMETERISASI, DAN SIMULASI SISTEM RADAR OFDM, SERTA PERANCANGAN PENGUKURAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pemodelan sistem radar OFDM, parameterisasi aspek-aspek yang penting dalam sistem radar OFDM, dan juga simulasi radar OFDM di Labview. Selain itu pada bab ini akan dipaparkan mengenai implementasi sistem radar OFDM dengan menggunakan SDR. Termasuk didalamnya

adalah konfigurasi perangkat, medan pengukuran, perhitungan link budget, dan perancangan sistem.

BAB IV ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dianalisis hasil simulasi dan hasil pengukuran sistem radar OFDM berbasis SDR. Akan dianalisis juga mengenai masalah-masalah yang terjadi selama simulasi atau pengukuran.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan, dan saran berdasarkan yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi:

1. Lembaga Penelitian dan Pendidikan
Sebagai acuan dan tinjauan pustaka bagi penelitian radar dengan menggunakan SDR lebih khususnya penelitian radar yang menggunakan perangkat keras USRP untuk melakukan implementasi.
2. Industri Otomotif
Sebagai rekomendasi mengenai implementasi radar yang fleksibel, mudah, dan lebih murah untuk diimplementasikan ke kendaraan.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2

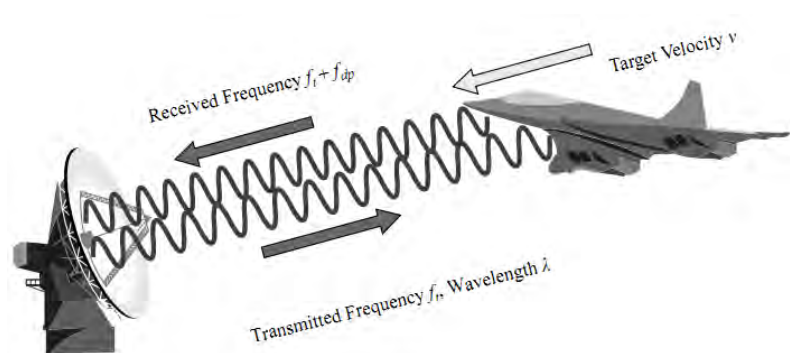
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radar

Radar adalah suatu sistem deteksi objek yang menggunakan gelombang radio untuk menentukan jarak, ketinggian, arah, atau kecepatan benda. Penggunaan radar saat ini sangatlah beragam, termasuk kontrol lalu lintas udara, astronomi radar, sistem pertahanan udara, sistem antiroket, radar laut untuk menemukan *landmark* dan kapal lainnya, sistem pesawat *anticollision*, sistem pengawasan laut, pengawasan luar angkasa, meteorologi pengawasan cuaca, sistem kontrol altimetri dan penerbangan, sistem pertahanan anti rudal, dan radar penembus tanah untuk pengamatan geologi.

2.1.1 Konsep Radar

Radar (*Radio Detection and Ranging*) adalah sekelompok sistem yang bisa mendeteksi keberadaan, mengukur jarak, bahkan menghitung kecepatan suatu benda dengan memanfaatkan pantulan gelombang elektromagnetik. Prinsip kerja suatu radar dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 2.1 Ilustrasi Cara Kerja Radar[5]

Gelombang elektromagnetik dipancarkan melalui antenna pengirim ke suatu arah tertentu. Jika pada arah tersebut ada suatu objek yang bahannya bersifat memantulkan gelombang elektromagnetik maka akan ada gelombang yang sama yang dipantulkan oleh objek tersebut. Apabila pantulannya mengarah ke antenna penerima -yang lokasinya

sama dengan antenna pengirim- maka akan bisa diambil informasi mengenai eksistensi, jarak, dan kecepatan objek setelah melakukan pengolahan terhadap sinyal yang kembali tadi.

2.1.2 Macam Radar

Berdasarkan sinyal yang dibangkitkan, radar dibagi menjadi ada dua jenis, yaitu radar pulsa (Pulsed Radar) dan radar gelombang kontinyu (*Continuous Wave Radar*).

- *Pulsed Radar* mempunyai prinsip kerja memancarkan sinyal pulsa dengan *PRI* (*Pulse Repetition Interval*) dan *PRF* (*Pulse Repetition Frequency*) tertentu dipancarkan dengan modulasi ke dalam sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang lebih tinggi serta memanfaatkan delay dari setiap pulsanya untuk mendapatkan informasi dari target.
- *Continuous Wave Radar* mempunyai prinsip kerja memancarkan sinyal sinusoidal secara terus menerus dan memanfaatkan sinyal echo yang terdiri dari beberapa variasi frekuensi akibat adanya efek Doppler untuk mendeteksi target.

2.1.3 Parameter Umum Radar

Untuk menentukan jarak target dari radar adalah dengan cara menghitung selisih waktu antara sinyal ditransmisikan dan ketika sinyal pantulan (*echo*) kembali ke radar (T_R). Rumusan jarak radar ke target (R) adalah

$$R = \frac{cT_R}{2} \quad (1)$$

Dimana c merupakan konstanta kecepatan cahaya yakni 300.000.000 m/s. Parameter lain yang perlu diketahui mengenai radar adalah *Maximum Unambiguous Range* (R_{unamb}), yaitu jarak yang bisa ditempuh sinyal sebelum sinyal berikutnya ditransmisikan, dirumuskan dengan

$$R_{unamb} = \frac{cT_p}{2} \quad (2)$$

Dimana T_p adalah periode pengulangan gelombang yang ditransmisikan. R_{un} ini menjadi penting karena jika ada lebih dari satu sinyal di ruang pantulan, maka akan menimbulkan sinyal yang ambigu ketika sampai di antenna penerima.

Sementara untuk menentukan kelajuan relatif target (V) terhadap radar ditentukan dengan formula

$$V = \frac{c f_D}{2 f} \quad (3)$$

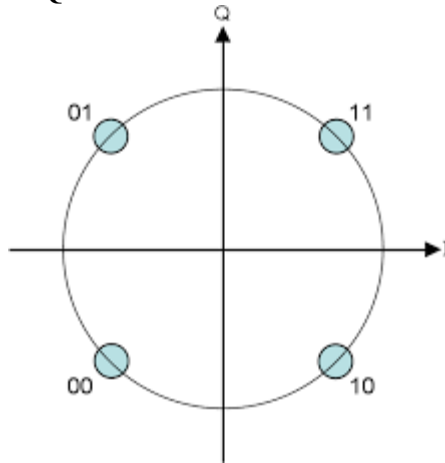
Dimana v adalah kelajuan target (m/s), f adalah frekuensi kerja antenna (Hz), c adalah kecepatan cahaya (m/s), dan f_D adalah frekuensi Doppler akibat pergerakan target yang terukur oleh radar (Hz).

Untuk mengetahui *Maximum Unambiguous Velocity* (V_{unamb}), yaitu kelajuan maksimal yang dapat diukur radar, maka digunakan formula

$$V_{unamb} = \frac{c}{2 f T} \quad (4)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya (m/s), f adalah frekuensi kerja antenna (Hz), dan T adalah periode sinyal (s).

2.2 Modulasi QPSK



Gambar 2.2 Konstelasi Sinyal QPSK

Modulasi QPSK merupakan salah satu jenis modulasi M - Quadrature Amplitude Modulation (QAM) dengan M sebanyak empat. Bit input biner dipisah menjadi dua kanal transmisi baseband yaitu I dan Q , kemudian pada kanal tersebut sinyal diubah menjadi sinyal PAM oleh pengubah, dari sinyal biner yang memiliki amplitude $+1$ dan 0 , ke sinyal L level yang memiliki amplitude $+(L - 1)$ dan $-(L - 1)$, atau yang biasa disebut *2 to L Converter*, dimana nilai $L = 2k/2$. Setelah sinyal menjadi sinyal PAM, lalu dimodulasi dengan modulator seimbang (*balanced modulator*) dengan $\sin(\omega t)$ untuk kanal I dan $\cos(\omega t)$ untuk kanal Q ,

kemudian dijumlahkan secara linier menjadi sinyal I+jQ dan sinyal menjadi sinyal termodulasi M-QAM. Gambar berikut menunjukkan konstelasi sinyal QPSK.

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) memiliki empat simbol dengan amplitude sama namun fase yang berlainan. Keempat simbol tersebut dibentuk dari grup dua bit input, sehingga diperoleh empat kondisi yang mungkin, yaitu 00, 01, 10 dan 11. Setiap bit menghasilkan satu dari empat fase yang mungkin, sehingga rate keluarannya adalah setengah dari rate input.

2.3 PN Sequence

Setiap kanal/subcarrier pada sistem OFDM menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan. Salah satu metode untuk membedakan setiap kanal maka digunakan kode unik yang juga digunakan untuk melebarkan sinyal. Kode ini disebut Pseudo-Random Noise (PN Code) yang merupakan deretan data berkecepatan tinggi yang berharga polar (-1 & +1) atau non polar (0 & 1). Deret Pseudo-random Noise (PN) atau deret acak semu adalah suatu deret yang bersifat seperti noise, yang dalam deret pendek tampak seakan-akan acak namun baru dalam deret panjang terlihat berulang/periodik.

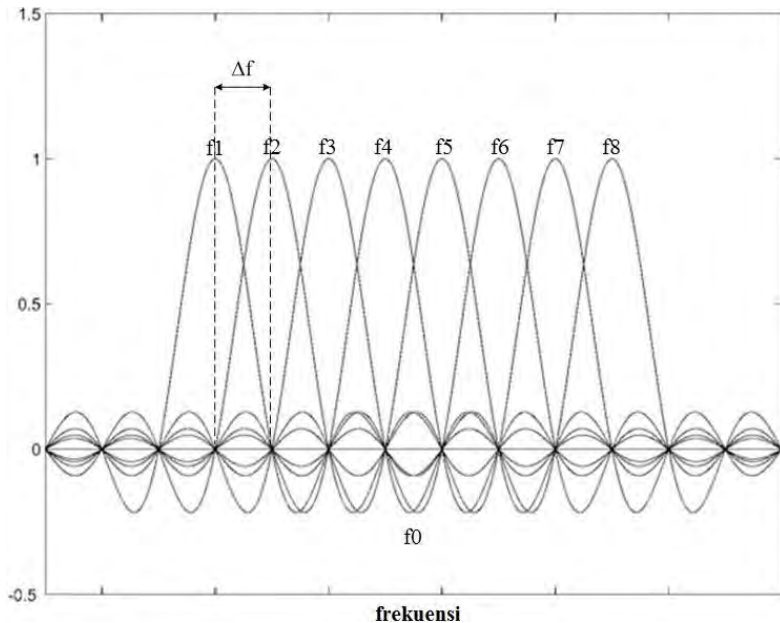
2.4 Teknik Sinyal OFDM

Konsep teknik sinyal OFDM adalah membagi sinyal dari satu bandwidth ke dalam sejumlah subcarrier yang saling ortogonal sehingga sinyal-sinyal subcarrier dapat ditransmisikan secara bersamaan tanpa terjadi interferensi walaupun frekuensi antar subcarrier saling *overlapping*. Jarak frekuensi antar dua subcarrier bersebelahan sering disebut spasi frekuensi subcarrier (Δf).

Pemodelan sinyal yang merepresentasikan sinyal radar OFDM $s(t)$ adalah seperti berikut

$$s(t) = \exp(j2\pi f_0 t) \cdot \sum_{i=1}^{n_c} d_i \cdot \exp(j2\pi f_i t) \cdot p(t) \quad (5)$$

dimana n_c adalah banyaknya frekuensi subcarrier, f_0 adalah frekuensi tengah bandwidth, d_i adalah data ke- i , f_i adalah frekuensi subcarrier ke- i , dan $p(t)$ adalah fungsi pembentuk pulsa. Gambar 1.3 berikut ini adalah ilustrasi sebuah simbol OFDM dengan delapan subcarrier.



Gambar 2.3 Ilustrasi Sinyal OFDM dengan Delapan Subcarrier

2.4.1 IFFT/FFT

IFFT/FFT adalah bagian yang sangat penting dalam sistem OFDM. IFFT berfungsi sebagai pembuat simbol OFDM. Penggunaan IFFT inilah yang memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (orthogonal) sehingga sinyal yang berurutan tidak saling menginterferensi. Untuk persamaan IFFT dapat dituliskan sebagai berikut

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \exp\left(\frac{j2\pi ik}{N}\right) \quad (6)$$

Dimana:

$k = 0, 1, \dots, N-1$

$x(i)$ = subcarrier ke- i

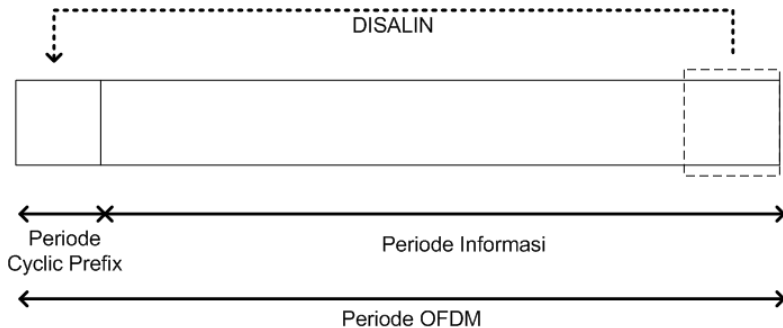
N = jumlah titik IFFT

Pada OFDM sinyal inputan dari IFFT adalah domain waktu, namun hal tersebut tidaklah berpengaruh dikarenakan IFFT merupakan sebuah konsep matematis yang tidak peduli apa yang dihasilkan dan apa

inputan awal. Selama yang menjadi inputan berupa amplitude dari beberapa sinyal sinusoidal, IFFT akan menghasilkan suatu nilai dalam domain waktu. Sementara FFT adalah metode paling efisien untuk menghitung *Discrete Fourier Transform* (DFT) untuk mencari spektrum sinyal sehingga terdapat pada receiver.

2.4.2 Cyclic Prefix

Dalam sistem OFDM, *Cyclic Prefix* (CP) memegang peranan penting untuk menjaga keortogonalitas subcarrier OFDM pada situasi kanal yang frekuensi selektif. CP adalah deretan bit yang dibentuk dengan menyalin ulang sebagian bit-bit tersebut di depan simbol tersebut. Dengan adanya tambahan CP ini, sinyal OFDM tidak akan mengalami ISI selama besar delay spread kanal lebih pendek dari durasi CP, sedangkan simbol OFDM tidak mengalami distorsi akibat ISI.



Gambar 2.4 Ilustrasi Cyclic Prefix

2.5 Radar OFDM [6]

Penggunaan sinyal OFDM dalam aplikasi radar tentu bukan tanpa alasan. Diketahui sinyal OFDM sensitif terhadap pergeseran frekuensi Doppler yang dianggap sebagai kekurangan dalam sistem komunikasi namun justru menguntungkan untuk sistem radar. Dikatakan menguntungkan karena dengan sensitive terhadap frekuensi Doppler justru dapat memberi informasi mengenai kelajuan target.

Berikut ini adalah beberapa kriteria dalam parameterisasi di sistem radar OFDM

2.5.1 Frekuensi Doppler dan Spasi Frekuensi Antar Subcarrier

Jika dibandingkan dengan sistem komunikasi, sistem radar mengalami pergeseran frekuensi Doppler dua kali [10]

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \quad (7)$$

Dimana f_D adalah besarnya frekuensi Doppler (Hz), v adalah kelajuan relatif target terhadap radar (m/s) dan λ adalah panjang gelombang carrier(m). Frekuensi Doppler maksimum didefinisikan dengan mempertimbangkan perancangan berapa kelajuan target maksimum yang akan dideteksi radar. Sementara spasi frekuensi antar subcarrier (Δf) haruslah lebih besar dari sepuluh kali frekuensi Doppler maksimum untuk menjaga ortogonalitas antar subcarrier.

2.5.2 Jarak Maksimal dan Resolusi Jarak

Unambiguous range atau jarak maksimal yang dapat dideteksi oleh radar OFDM dinyatakan dengan

$$R_{max} = \frac{c}{2 \Delta f} \quad (8)$$

Sementara resolusi jarak dinyatakan dengan

$$\Delta R = \frac{c}{2 N_c \Delta f} \quad (9)$$

Dimana N_c menyatakan banyaknya subcarrier yang digunakan sistem radar.

2.5.3 Kelajuan Maksimal dan Resolusi Kelajuan

Kelajuan maksimal yang dapat dideteksi radar OFDM dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{max} = \frac{\Delta f \lambda}{2} \quad (10)$$

Periode simbol OFDM adalah periode OFDM ditambah periode CP. Dimana periode CP ditetapkan sebesar seperdelapan periode simbol OFDM. Periode simbol OFDM mempengaruhi resolusi kelajuan dan dinyatakan dengan formula sebagai berikut

$$\Delta V = \frac{\lambda}{2 T_{OFDM} \Delta f} \quad (11)$$

2.6 Metode Pemrosesan Berdasarkan Simbol dengan Periodogram [7][8][9]

Power Spectral Density (PSD) adalah metode yang banyak digunakan untuk menganalisis hasil sinyal keluaran dan menggambarkan bagaimana daya dari sebuah sinyal atau waktu yang ada didistribusikan terhadap frekuensi, dimana dimensi yang dimiliki dari PSD adalah daya per Hz, atau yang biasa disebut sebagai spektrum dari sinyal. Suatu cara untuk mengestimasi PSD dari suatu proses adalah dengan melakukan FFT kemudian mengambil kuadrat besaran dari hasil tersebut. Hal tersebut disebut dengan periodogram. Periodogram merupakan salah satu jenis estimasi PSD non parametric dimana estimasi PSD dilakukan secara langsung dari sinyal yang diolah.

Pemrosesan informasi radar seringkali menggunakan metode cross korelasi. Namun pemrosesan pada tugas akhir ini menggunakan pemrosesan berdasar simbol karena sidelobe yang dihasilkan lebih kecil dan komputasinya lebih cepat. Pada pemrosesan berdasarkan simbol metodenya adalah seperti berikut

1. Simbol di receiver setelah FFT sebelum demodulasi dibandingkan per elemen dengan simbol di transmitter setelah modulasi sebelum IFFT
2. Dilakukan operasi FFT per simbol OFDM sejumlah banyaknya subcarrier yang didefinisikan
3. Dilakukan operasi IFFT per subcarrier sejumlah banyaknya simbol OFDM yang dirancang
4. Untuk memperjelas maka data setelah IFFT kemudian dikuadratkan selain untuk menghilangkan nilai negatif

2.7 Kesalahan Pengukuran Radar

Pada radar, hasil pembacaan dikatakan *error* atau salah jika harga mutlak selisih antara hasil pembacaan (m) dengan nilai aktual target yang seharusnya (n) melebihi resolusi radar (Δ).

$$|m - n| > \Delta \quad (12)$$

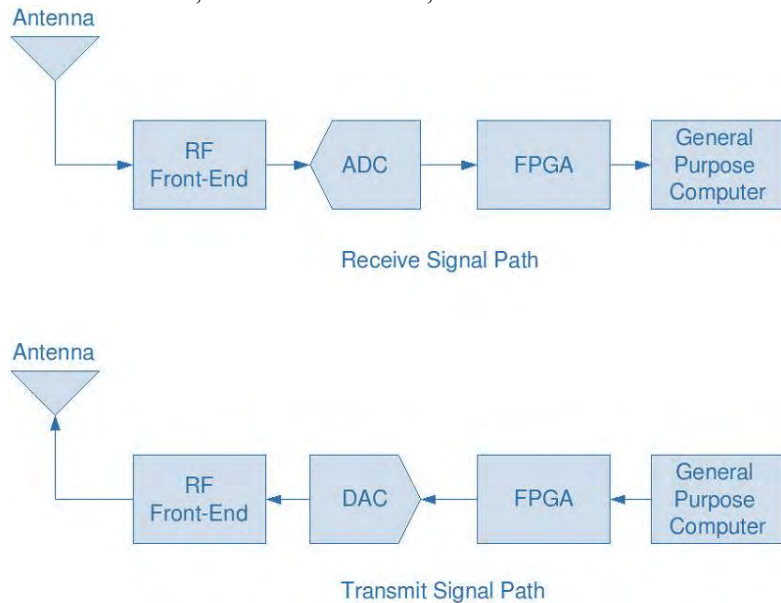
2.8 SDR (Software Defined Radio)

SDR adalah perangkat keras pemancar/penerima gelombang radio (*transceiver*) yang dapat diprogram. SDR forum mendefinisikan SDR sebagai radio yang menggunakan perangkat lunak untuk bagian teknik modulasi, *wide-band* atau *narrow-band operation*, fungsi

keamanan komunikasi (seperti *hopping*), dan kebutuhan bentuk gelombang untuk standar saat ini dan yang akan datang pada daerah frekuensi *broad band*. SDR merupakan suatu teknologi dimana perangkat lunak dapat dijalankan pada platform perangkat keras, yaitu pada *Digital Signal Processing* (DSP) *processor* dan *Field Programmable Gate Array* (FPGA), untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi radio seperti proses modulasi pada transmitter dan proses demodulasi pada receiver.

2.9 USRP (Universal Software Radio Peripheral)

USRP merupakan salah satu SDR yang umum digunakan. *Interface* USRP telah tersedia di beberapa perangkat lunak, diantaranya adalah LabVIEW, MATLAB/Simulink, dan GNU Radio.



Gambar 2.5 Diagram blok SDR USRP

Dalam USRP ada *motherboard* dan *daughterboard*. Di bagian *motherboard* ada FPGA dan ADC/DAC. FPGA menjalankan fungsi *Digital Up Converter* (DUC) dan *Digital Down Converter* (DDC) serta menyediakan antarmuka untuk berkomunikasi dengan *host PC*.

Analog to Digital Converter (ADC) dan *Digital to Analog Converter (DAC)* berfungsi melakukan konversi sinyal analog ke digital dan sebaliknya. Saat ini, *motherboard* USRP mendukung frekuensi kerja 0 Hz (DC) s/d 6 GHz.

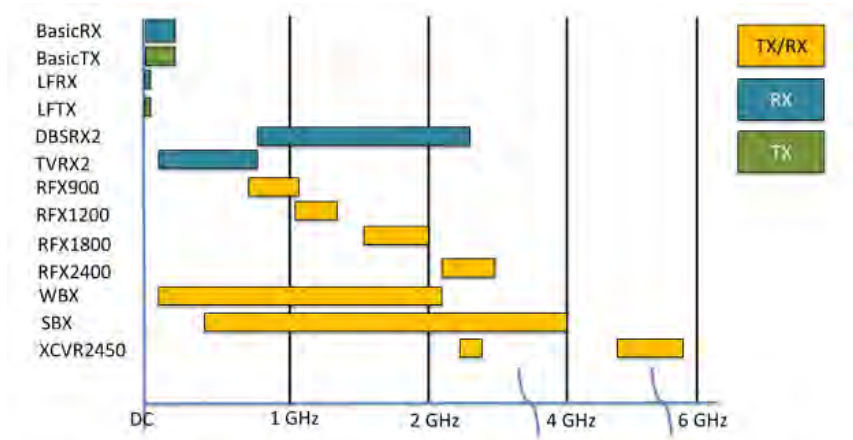
Daughterboard ditujukan sebagai *RF front end* yang menentukan rentang frekuensi kerja radio yang dapat digunakan. Secara umum, *daughterboard* terdiri atas *filter*, *mixer*, dan *amplifier*. Sinyal yang diolah pada *daughterboard* adalah berupa sinyal analog. Gambar 2.5 menunjukkan diagram blok SDR dengan menggunakan perangkat keras USRP.

2.9.1 Daughterboard USRP

Daughterboard USRP yang dipasang menentukan frekuensi kerja yang USRP mungkin lakukan. Gambar 2.6 menunjukkan kemampuan masing-masing daughterboard yang tersedia untuk USRP.

Sebagai perbandingan, untuk penelitian HF dapat menggunakan daughterboard LFTX pada transmitter dan LFRX pada receiver yang mana keduanya bekerja pada frekuensi 0-30 MHz. Sedangkan untuk menggunakan USRP sebagai penangkap siaran televisi digunakan TVRX2.

Untuk aplikasi *Wide-Band* maka dipergunakanlah WBX. Sementara untuk aplikasi radar disarankan untuk menggunakan daughterboard SBX yang bekerja pada frekuensi 2-4 GHz.



Gambar 2.6 Bandwidth dari masing-masing Daughterboard

2.9.2 Bandwidth USRP

Pada USRP, bandwidth-nya berbeda di setiap titik rantai sinyal. Tiga tipe dari spesifikasi bandwidth USRP adalah bandwidth analog, bandwidth pemrosesan FPGA, dan bandwidth host. Bandwidth analog selalu lebih kecil dari sample rate ADC/ DAC.

Bandwidth sistem dalam aplikasi USRP ditentukan oleh bandwidth terkecil dari ketiga istilah bandwidth tersebut. Adapun yang dimaksud dengan bandwidth analog adalah besarnya bandwidth (3 dB) yang digunakan antara port RF dan antarmuka IF/ baseband. Bandwidth analog diatur oleh filter IF atau baseband pada daughterboard, yang didesain untuk menghindari aliasing ketika dipasangkan dengan motherboard USRP yang memiliki sample rate ADC/ DAC tertentu.

Sementara Bandwidth pemrosesan FPGA adalah besarnya laju penyamplingan yang disediakan oleh ADC dan DAC pada *motherboard* USRP. Bandwidth ini menyatakan bandwidth digital maksimum pada sistem USRP. Selain itu *host* interface memungkinkan terjadinya aliran data antara FPGA pada perangkat USRP dengan *host* PC. Pada umumnya, aliran data dari dan ke USRP adalah dalam bentuk data I/Q, dengan kecepatan aliran dinyatakan dalam IQ *sample rate*.

Dalam konteks perangkat USRP yang dapat mendukung komunikasi *full duplex*, berarti bahwa interface mampu mengalirkan data dalam dua arah dengan kecepatan tertentu secara bersamaan. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa unjuk kerja aliran data aktual tergantung pada kemampuan pemrosesan *host* PC, kompleksitas program atau *digital signal processing* (DSP), dan sebagainya.

Tabel 2.1 Spesifikasi *bandwidth* dan *sample rate* USRP NI-2922

<i>Sample Width</i>	<i>Maximum IQ Sample Rate</i>	<i>Maximum Instantaneous Bandwidth (LPF)</i>	<i>DAC/ADC Sample rate</i>
8 bit/sample	50 MS/s, <i>Full Duplex</i>	40 MHz	ADC 100 MS/s, DAC 400 MS/s
16 bit/sample	25 MS/s, <i>Full Duplex</i>	20 MHz	ADC 100 MS/s, DAC 400 MS/s

2.9.3 USRP NI 2922

USRP NI-2922 terdiri atas *motherboard* USRP N210 dan *daughterboard* SBX. Pada tabel 2.2 berikut ini akan disajikan informasi mengenai spesifikasi USRP NI 2922 secara lebih lengkap

Tabel 2.2 Spesifikasi Rinci NI 2922

Specification	Typical Value	Unit
Power		
DC Input	6	V
Current Consumption	1,3	A
Conversion Performance and Clocks		
ADC Sample Rate	100	MS/s
ADC Resolution	14	Bits
ADC Wideband SFDR	88	dBc
DAC Sample Rate	400 MS/s	MS/s
DAC Resolution	16	bits
DAC Wideband SFDR	80	dBc
IQ Sampling Rate (8b/16b)	50 Full Duplex/25 Full Duplex	MS/s
Clock Type	TCXO	
Frequency Accuracy	2,5	ppm
Frequency Accuracy w/ GPSDO Reference	0,01	ppm
Transmitter RF Performance		
Tx Maximum Output Power	17 - 20	dBm
SW Adjustabel Tx Frequency Step	< 1	kHz
Tx Output Power Gain Range	0 - 31	dB
SW Adjustabel Output Gain Step Size	1	dB
Instantaneous Real Time Bandwidth (8b/16b)	20/40	MHz
Receiver RF Performance		
Rx Maximum Input Power	0	dBm
Software Adjustabel Rx Frequency Step	< 1	kHz
Tx Output Power Gain Range	0 - 31,5	dB
SW Adjustabel Output Gain Step Size	0,5	dB
Instantaneous Real Time Bandwidth (8b/16b)	20/40	MHz

<i>Noise Figure</i>	5 - 7	dB
Connections		
TX1/RX1, RX2 Port	SMA Female	-
Specification	Typical Value	Unit
Ethernet Connection	1 Gigabit Ethernet	-
Ref Clock (10-MHz external reference input)	SMA, 10 MHz	-
PPS Input (Pulse Per Second reference input)	SMA, 3 - 5 V TTL Compatible	-
MIMO Expansion Port	High-Speed SerDes protocol	-
Physical		
Operating Temperature	0 - 55°	C
Dimensions (l x w x h)	21 x 16 x 5	cm
Weight	1,2	kg

2.9.4 Daya Pancar USRP

USRP merupakan perangkat yang tidak terkalibrasi, sehingga nilai *gain* transmitter diatur dengan software dan tidak terkait langsung dengan level daya *output*, P_{out} USRP. Selain itu, besarnya daya *output* berbeda pada setiap frekuensi radio yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran daya *output* USRP pada frekuensi yang akan digunakan, yaitu frekuensi radio 2,4 GHz.

Tabel 2.3 Daya *output* USRP NI-2922 pada frekuensi 2,4 GHz dengan variabel *gain* pancar.

Gain Tx (dB)	P_{out} (dBm)
0	-5,72
5	-1,28
10	3,53
15	8,31
20	13,05
25	18,33
30	20,46
31 (max)	20,49

2.10 LabVIEW

LabVIEW merupakan salah satu pemrograman grafis yang banyak digunakan saat ini. LabVIEW adalah software pengolah data dan sering digunakan dalam bidang akuisisi data, kendali instrumentasi, dan otomasi industri. LabVIEW mendukung pengaturan dan pemrograman perangkat keras USRP dengan menggunakan fungsi tambahan yang terdapat pada *toolbox* NI-USRP Instrument Driver. NI-USRP Instrument Driver terdiri atas fungsi untuk melakukan pengaturan USRP, sinkronisasi, dan fungsi lainnya.

2.11 Test Data Exchange Stream (TDMS)

TDMS merupakan salah satu sistem penyimpanan data yang digunakan pada perangkat lunak LabVIEW. *File* TDMS mengorganisir data dalam tiga tingkat hierarki objek. Tingkat paling atas terdiri dari objek tunggal yang berisi informasi *file* yakni judul *file*. Setiap *file* dapat berisi jumlah *group* yang tidak terbatas, dan setiap *group* dapat berisi jumlah *channel* yang tidak terbatas. Saat ini, versi TDMS hanya mendukung penyimpanan array satu dimensi.

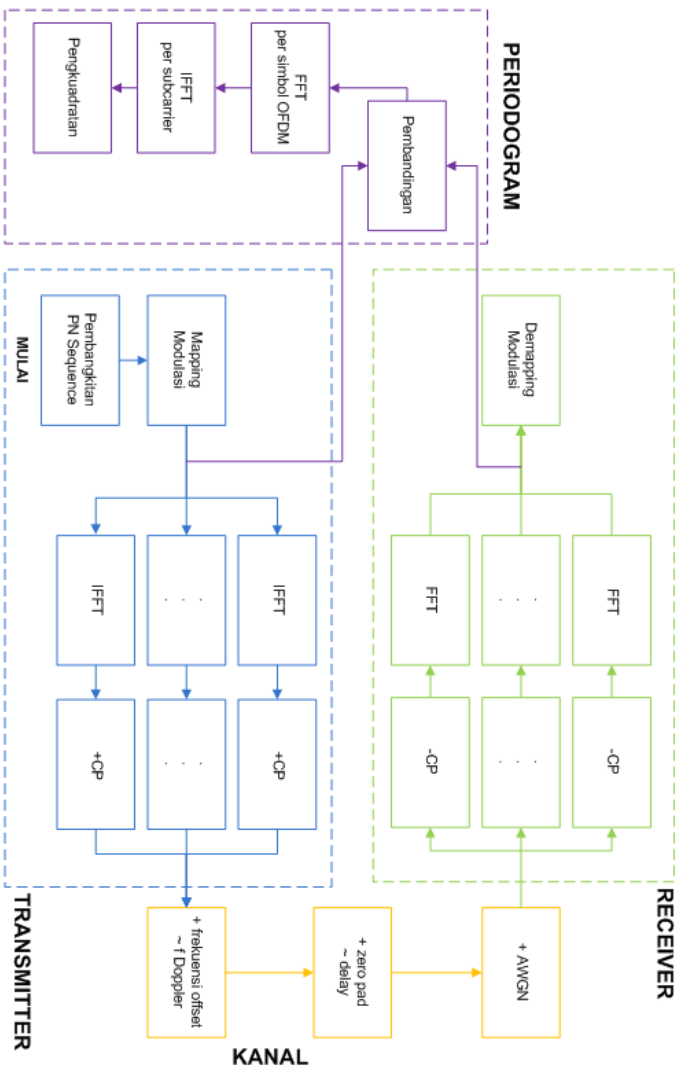
BAB 3

PEMODELAN, PARAMETERISASI, DAN SIMULASI SISTEM RADAR OFDM, SERTA PERANCANGAN PENGUKURAN

3.1 Pemodelan Sistem

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai pemodelan sistem radar OFDM sederhana yang diilustrasikan seperti pada gambar diagram 3.1. Adapun penjelasan mengenai pemodelan sistem diterangkan seperti di bawah ini

1. Sistem yang dirancang dimulai dengan membangkitkan *PN (Pseudorandom Noise) Sequence* sebagai bit informasi yang dikirimkan.
2. Data *PN Sequence* kemudian dimodulasi dengan modulasi QPSK
3. Simbol modulasi kemudian diparalelisasi dan dilakukan operasi IFFT untuk mencapai ortogonalitas antar subcarrier
4. Setelah itu ditambah *cyclic prefix (CP)* sebagai *guard interval* antar simbol yang mencegah terjadinya *intersymbol interference (ISI)* yang dapat merusak informasi antar simbol
5. Semua simbol parallel kemudian dikirim secara serial melewati kanal
6. Di kanal, sebagai pemodelan target dilakukan pemodelan kelajuan dan pemodelan jarak dari target
 - Untuk pemodelan kelajuan target maka disisipkan frekuensi offset yang setara dengan frekuensi Doppler yang merepresentasikan kelajuan relatif dari target (contohnya untuk memodelkan kelajuan 50m/s maka frekuensi offset diatur hingga mencapai angka 809 Hz)
 - Untuk memodelkan jarak maka dipakailah *zero pad* yang setara dengan delay echo yang merepresentasikan jarak target (contohnya untuk memodelkan jarak 30 m maka delay diatur hingga mencapai angka 200 ns)
7. Di receiver diberi *Additive White Gausssian Noise* untuk memodelkan noise
8. Setelah itu sinyal yang masuk receiver dalam bentuk serial kemudian diparalelisasi kembali dan dilakukan penghapusan CP
9. Setelah dilakukan penghapusan CP maka kemudian sinyal yang diterima receiver dilakukan operasi FFT sebelum di-demodulasi / demapping.



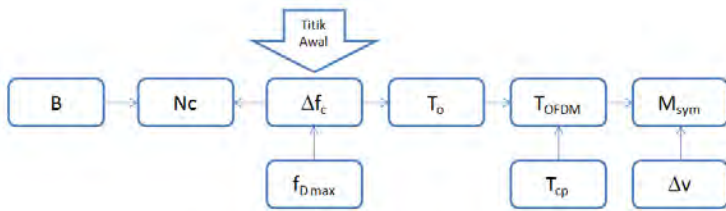
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Radar OFDM

Sementara itu mengenai pemrosesan informasi radar digunakan metode periodogram. Adapun penjelasan tahapan pemrosesan pada periodogram adalah sebagai berikut

1. Data yang sudah dimodulasi/di-mapping di transmitter, yang berbentuk array, dibandingkan per elemen dengan data di receiver setelah proses FFT sebelum demapping/demodulasi, yang bentuknya array juga.
2. Kemudian dilakukan operasi FFT per simbol OFDM sejumlah banyaknya subcarrier yang didefinisikan
3. Berikutnya dilakukan operasi IFFT per subcarrier sejumlah banyaknya simbol OFDM yang dirancang
4. Setelah itu dilakukan proses penguadratan

3.2 Parameter Perancangan Sistem Radar OFDM

Berikut ini akan dipaparkan mengenai alur parameterisasi sistem radar OFDM



Gambar 3.2 Blok Diagram Parameter Sistem Radar OFDM

1. Radar OFDM bekerja pada frekuensi 2,4 GHz ($\lambda = 0,125$ m)
2. Kelajuan relatif maksimal ($v_{r \max}$) target adalah 50 m/s
3. Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan selanjutnya adalah spasi antar subcarrier (Δf_c), namun sebelum itu perlu mengetahui frekuensi Doppler maksimal ($f_{D \max}$) terlebih dahulu. Untuk radar, pergeseran Doppler terjadi dua kali

$$f_{D \max} = 2 v_r / \lambda \quad (12)$$

sehingga f_D bernilai 0,8 kHz pada frekuensi 2,4 GHz.

4. Agar keortogonalitas antar subcarrier tercapai, maka Δf_c harus lebih besar dari sepuluh kali $f_{D \max}$

$$\Delta f_c > 10 f_{D \max} \quad (13)$$

Dipilih Δf_c sebesar 39 kHz

5. Bandwidth (B) dari USRP sebesar 40 MHz , dengan memperhatikan teori Nyquist maka B diusahakan mendekati 20 MHz
6. Setelah Δf_c dan B diketahui, dapat dihitung banyaknya subcarrier (N_c) yang mungkin dimana banyaknya subcarrier ditentukan dengan lebar bandwidth dibagi dengan spasi antar subcarrier. N_c yang dimungkinkan untuk digunakan haruslah merupakan bilangan dua pangkat, sehingga N_c ada sebanyak 512
7. Periode simbol OFDM (T_o) merupakan perbandingan antara banyaknya subcarrier dengan bandwidth yang terpakai (B_u), atau satu per periode simbol OFDM, sehingga didapatkan T_o berdurasi 25,6 μs
8. Periode OFDM (T_{OFDM}) merupakan penjumlahan T_o dengan periode *cyclic prefix* (T_{cp}). T_{cp} ditetapkan sepanjang seperdelapan T_o , sehingga T_{OFDM} berdurasi selama 28,8 μs
9. Resolusi jarak (ΔR) hanya dipengaruhi lebarnya bandwidth yang dipakai dimana resolusi jarak berbanding terbalik terhadap bandwidth

Tabel 3.1. Hubungan Bandwidth dan Resolusi Jarak

Bandwidth (MHz)	Resolusi Jarak (m)
2	75
4	37,5
6	25
8	18,75
10	15
12	12,5
14	10,71
16	9,375
18	8,33
20	7,5
22	6,81
24	6,25

Dari tabel 3.1 di atas dapat disimpulkan bahwa semakin lebar bandwidth sistem radar maka resolusi jarak semakin baik karena nilainya semakin kecil. Dengan semakin kecil nilai resolusi jarak maka seharusnya semakin banyak target yang dapat terdeteksi.

10. Resolusi kelajuan (Δv) bergantung dengan banyak simbol yang digunakan dan seberapa lamanya periode simbol OFDM. Resolusi kelajuan berbanding lurus dengan panjang gelombang yang digunakan dan berbanding terbalik terhadap periode simbol OFDM dan banyaknya simbol OFDM.

Tabel 3.2 Hubungan Banyak Simbol OFDM dengan Resolusi Kelajuan

Banyak simbol OFDM	Resolusi Kelajuan (m/s)
2	1067,7083
4	533,85417
6	355,90278
8	266,92708
16	133,46354
32	66,731771
64	33,365885
128	16,682943
256	8,3414714
512	4,1707357
1024	2,0853678
2048	1,0426839

Dari tabel 3.2 di atas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak simbol OFDM yang digunakan sistem radar OFDM maka resolusi kelajuan semakin baik karena nilainya semakin kecil. Dengan semakin kecil nilai resolusi kelajuan maka seharusnya semakin banyak target bergerak yang dapat dibedakan.

3.3 Pemodelan Simulasi Sistem

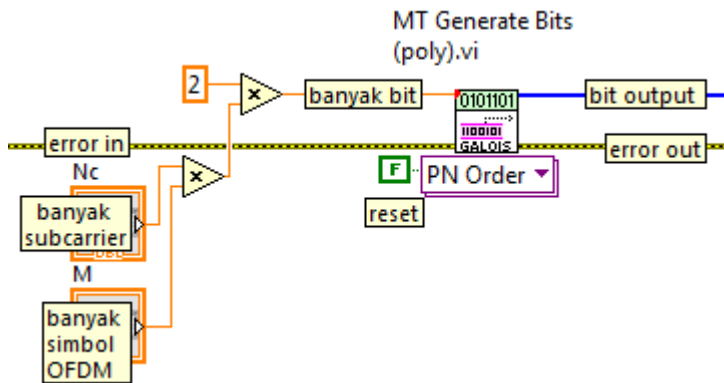
Pada pemodelan simulasi sistem tugas akhir ini, digunakan beberapa asumsi dan parameter sesuai dengan perancangan sistem, yaitu

1. Simulasi digunakan pada model *baseband equivalent*
2. Lebar bandwidth 20 MHz

3. Banyak subcarrier yang digunakan sebanyak 512 subcarrier
4. Panjang *cyclic prefix* sepanjang seperdelapan dari banyaknya subcarrier yang digunakan, atau dalam hal ini berarti sepanjang 64 subcarrier
5. Banyak simbol OFDM sebanyak 128 simbol OFDM
6. Modulasi menggunakan jenis modulasi QPSK
7. Jumlah Titik FFT yang digunakan sebanyak 512 titik
8. Kanal yang digunakan diasumsikan terpengaruh AWGN dengan E_b/N_0 sebesar 20 dB

3.3.1 Pembangkitan Bit Informasi

Pada sistem radar ini, untuk pembangkitan bit informasi digunakan pembangkit PN sequence. Di labview ada blok yang dapat membangkitkan PN sequence ini yaitu dengan *MT Generates Bits* di *Modulation Toolkit*. Input yang perlu didefinisikan di antaranya total bit dan *error in*. Untuk sistem ini total bit yang dibangkitkan sejumlah dua kali banyaknya data frame. Satu frame terdiri dari sebanyak $N_c \cdot M$. Dua kali frame karena bit akan dimodulasikan QPSK. Sementara *error in* dipilih *no error* berarti tidak ada error bawaan.

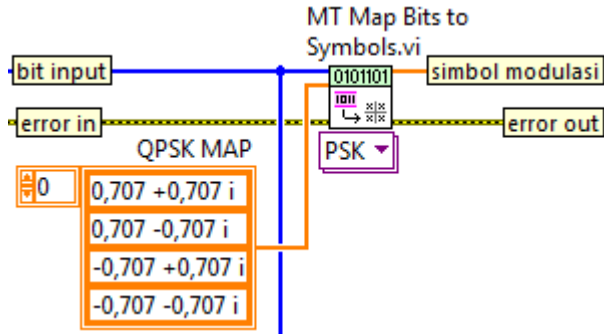


Gambar 3.3 Pembangkitan PN Sequence

3.3.2 Modulasi

Bit output dari PN generator menjadi bit input untuk modulasi. Bit input kemudian dimapping dengan modulasi QPSK menjadi simbol modulasi QPSK. Setelah mapping modulasi QPSK didapatkanlah data

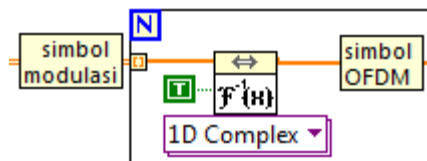
sebanyak satu frame dari yang sebelumnya sebanyak dua frame karena satu simbol QPSK berisi 2 bit data. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah kita harus menentukan map QPSK, mendefinikan nilai I dan Q-nya.



Gambar 3.4 Blok Modulasi QPSK

3.3.3 IFFT

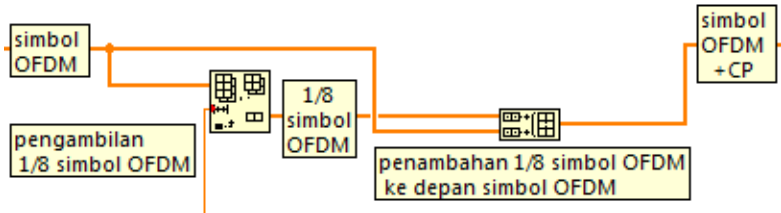
Tahap selanjutnya adalah dengan melakukan proses paralelisasi dan IFFT. Paralelisasi dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *for loop* yang banyaknya dapat diketahui dengan menyambungkan *indicator* pada blok N pada diagram seperti di bawah. Sementara untuk operasi IFFT dapat menggunakan blok dari *Modulation Toolkit*. Untuk IFFT ini inputnya adalah simbol modulasi QPSK dan outputnya adalah simbol OFDM.



Gambar 3.5 Blok Diagram IFFT

3.3.4 Penambahan Cyclic Prefix

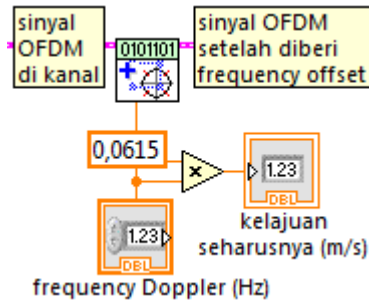
Penambahan cyclic prefix dilakukan dengan menyalin seperdelapan informasi terakhir dari simbol OFDM hasil IFFT untuk kemudian disematkan ke depan simbol OFDM tersebut sendiri yang berguna sebagai *guard interval* dan berfungsi untuk mencegah terjadinya ISI (*intersymbol interference*).



Gambar 3.6 Blok Diagram Penambahan Cyclic Prefix

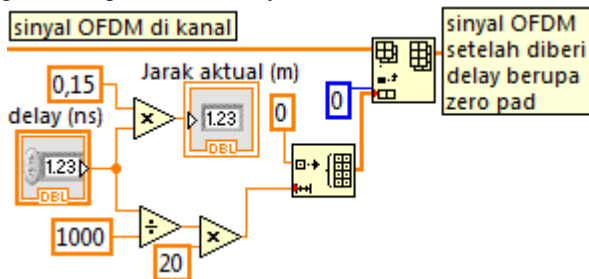
3.3.5 Pemodelan Target dan AWGN Receiver

Untuk memodelkan target yang sedang bergerak maka ditambailah frekuensi offset yang bisa dianggap sebagai frekuensi Doppler, dimana frekuensi Doppler memberi informasi mengenai kecepatan target, letaknya ada di *IQ Impairment* dari *Modulation Toolkit*



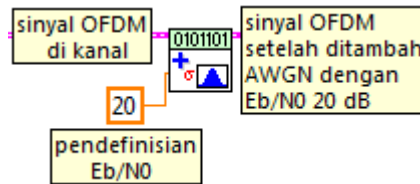
Gambar 3.7 Pemodelan Frequency Doppler untuk Kelajuan Target

Sementara untuk memodelkan jarak target adalah dengan penyisipan *zero pad* di aliran data kanal. Dimana panjang satu *zero pad* setara dengan satu kali periode simbol yang memberi informasi mengenai jarak target di kelipatan resolusinya.



Gambar 3.8 Pemodelan Delay untuk Jarak Target

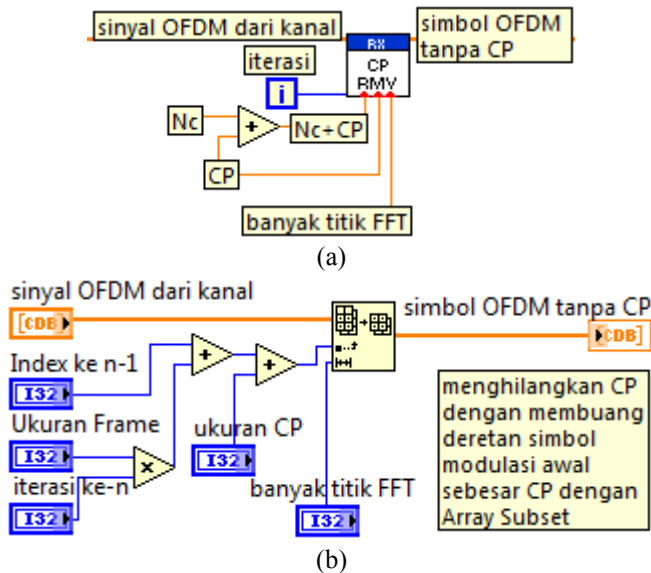
Penambahan AWGN dapat dilakukan dengan menambahkan MT AWGN dari *IQ Impairments* yang ada di *Modulation Toolkit*. Untuk sistem ini didefinisikan E_b/N_0 sebesar 20 dB



Gambar 3.9 Penambahan AWGN

3.3.6 Penghapusan CP

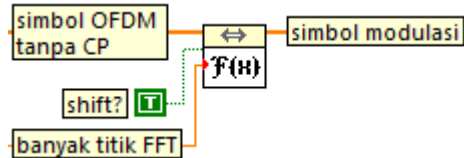
Penghapusan CP dilakukan dengan membuang sejumlah simbol yang didefinisikan sebelumnya.



Gambar 3.10 Penghapusan Cyclic Prefix (a) diagram sederhana atau yang disebut dengan subVI dengan fungsi penghapusan CP (b) diagram lengkap penghapusan CP

3.3.7 FFT

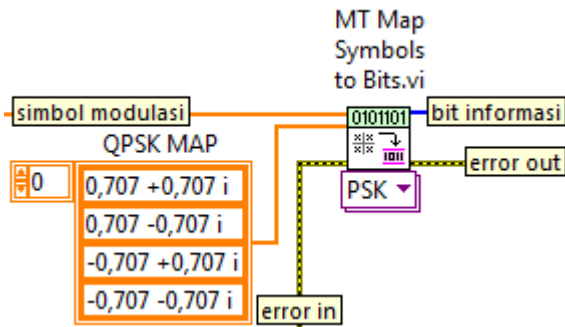
Tahapan selanjutnya adalah dengan melakukan proses FFT. Disini yang perlu didefinisikan adalah berapa titik FFT yang akan dilakukan. Inputannya adalah sinyal OFDM dari kanal dan outputnya adalah simbol modulasi yang seharusnya sama dengan simbol modulasi hasil mapping modulasi QPSK di transmitter.



Gambar 3.11 Operasi FFT

3.3.8 Demodulasi

Setelah itu data (simbol modulasi) didemodulasi kembali / di-demapping QPSK. Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan blok demodulasi QPSK yang berada di *Modulation Toolkit*. Inputnya tentunya simbol modulasi hasil FFT dan outputnya berupa bit informasi yang seharusnya sama seperti output PN sequence di transmitter.



Gambar 3.12 Demodulasi QPSK

3.4 Skema Pengukuran

3.4.1 Konfigurasi Perangkat

3.4.1.1 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah LabVIEW untuk membangun sub sistem pengukuran dan akuisisi data. Untuk pengolahan

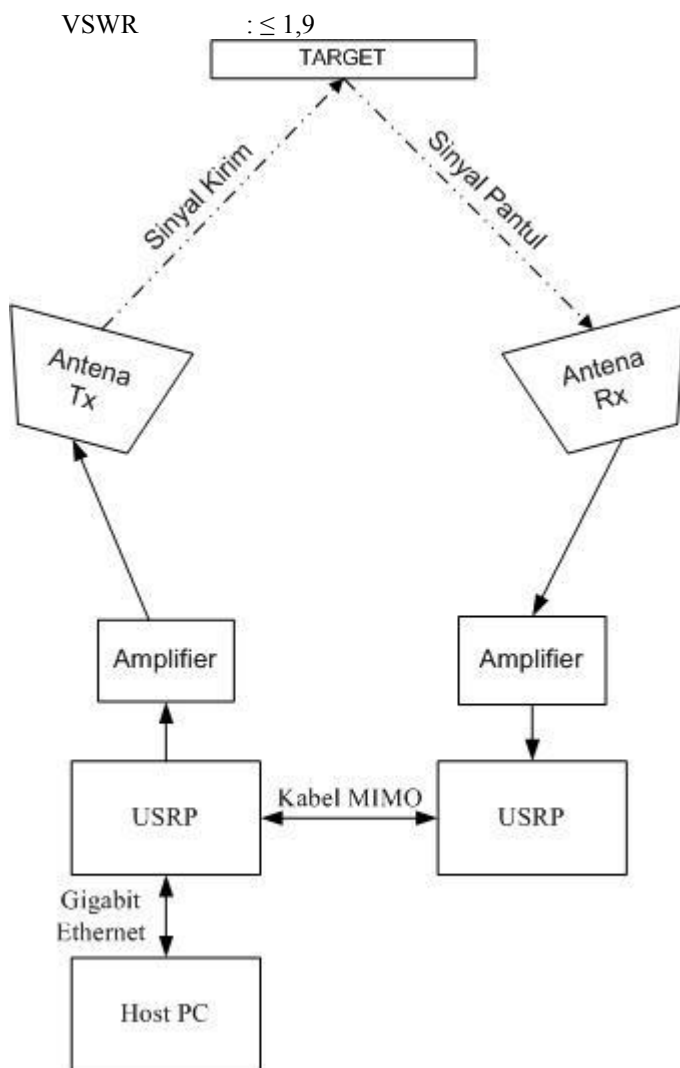
sinyal bantuan digunakanlah MATLAB. Berikut spesifikasi perangkat lunak yang digunakan.

1. LabVIEW
 - Versi : 14.0 2014 x86
 - Toolbox : NI-USRP Instrument Driver 14.0
Signal Processing Toolbox
Modulation Toolbox
Spectral Measurement Toolkit
2. Matlab
 - Versi : R2014a x86
 - Toolbox : Signal Processing Toolbox
DSP System Toolbox
Communications System Toolbox

3.4.1.2 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan yakni USRP NI-2922, USRP N210, satu unit perangkat komputer Sony Vaio S Series VPCS117GG dengan sistem operasi Windows 7 Professional 64-bit, dua unit *amplifier* RF, dan dua unit antena pandu gelombang (*waveguide*). Berikut adalah spesifikasi perangkat keras yang digunakan.

1. Sony Vaio S Series VPCS117GG
 - Processor : Intel Core i5 with NVIDIA Graphics (4 CPUs), 2.4 GHz
 - Memory : 4096MB RAM
 - Ethernet card : Realtek PCIe GBE Family Controller
2. RF Amplifier
 - Frekuensi : 2400 – 2500 MHz
 - Transmit gain : 17 dB (*typical*)
 - Receive gain : 11 dB (*typical*)
 - Noise figure : 3 (*typical*)
 - Input Trigger : min. 3 dBm, max. 20 dBm
3. Antena Circular Waveguide
 - Frekuensi : 2200 – 3246 MHz
 - Pola radiasi : *Directional*
 - Dimensi : diameter 14,8 cm
panjang 15,6 cm
 - Gain : 3,32 dBi
 - HPBW : 51,63°
 - Far Field : 35,05 cm



Gambar 3.13 Konfigurasi Perangkat

USRP dikendalikan dengan PC dengan cara dihubungkan dengan kabel Gigabit Ethernet. Sementara antar USRP dihubungkan

dengan kabel MIMO agar sinkronisasi antar USRP lebih mudah dilakukan. Mengenai target haruslah terbuat dari bahan yang mempunyai konduktivitas tinggi agar pantulannya semakin baik, dalam hal ini dipakailah tembaga.

3.4.2 Medan Pengukuran

Lokasi pengukuran awal adalah lapangan parkir dosen Teknik Elektro ITS dimana panjangnya hingga 66 m dan lebarnya selebar 31 m. Konfigurasi perangkat diatur sedemikian hingga di lapangan parkir ini sehingga dapat mengukur target dengan baik. Kemungkinan pantulan dari lingkungan sekitar harus diperhatikan agar pengukuran dapat dilakukan sebagaimana mestinya. Seperti contohnya adalah tidak mengabaikan adanya pohon di lingkungan. Intinya adalah bagaimana agar yang terukur adalah jarak/kelajuan target, bukan lingkungan. Jika tidak memperhatikan ada objek apa saja di lingkungan dikhawatirkan terjadi kesalahan deteksi, yang terukur adalah objek di lingkungan, bukan target.



Gambar 3.14 Lokasi Pengukuran di Teknik Elektro ITS

Lokasi pengukuran selanjutnya adalah di Taman Alumni ITS yang lebarnya lebih dari 50 m dan panjangnya lebih dari 100 m. Pengukuran dilakukan di taman alumni dengan harapan interferensi sinyal WiFi yang juga memanfaatkan teknik sinyal OFDM akan lebih sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali. Kriterianya adalah sama seperti

yang telah dipaparkan sebelumnya di Lapangan Parkir Dosen Teknik Elektro.



Gambar 3.15 Lokasi Pengukuran di Taman Alumni ITS

3.4.3 Perhitungan Link Budget

Berikut ini adalah perhitungan *power link budget* system. Perhitungan power link budget ini didasarkan pada parameter-parameter seperti tersebut berikut ini

1. Daya pancar, $P_t = 20,49$ dBm untuk *gain* transmitter $G_{tx} = 31$ dB
2. *Gain* penerima, $G_{rx} = 31$ dB
3. *Gain* antenna pengirim, $G_t = 3,32$ dBi
4. *Gain* antenna penerima, $G_r = 3,32$ dBi
5. Frekuensi kerja, $f = 2,427$ GHz
6. Target berbentuk persegi, dengan sisi $s = 1$ m
7. Periode simbol OFDM dengan cyclic prefix TOFDM = $28,8$ μ s
8. *Bandwidth*, $B = 20$ MHz
9. Asumsi $L_s = 20$ dB, dengan hasil pengukuran redaman total kabel *feeder* di sisi pengirim (Tx) dan penerima (Rx) adalah $12,4$ dB.

Dari parameter yang ditetapkan, dapat dihitung panjang gelombang, λ berdasarkan antenna yang digunakan, yakni

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,427 \cdot 10^9} = 0,1236 \text{ m} = 12,36 \text{ cm} \quad (14)$$

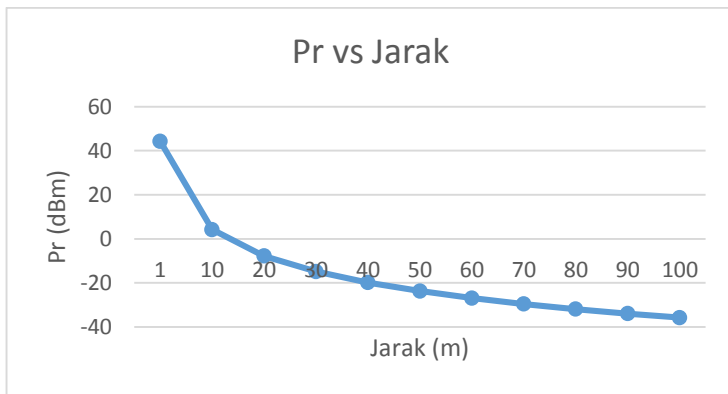
Sedangkan RCS model target dihitung dengan persamaan

$$\sigma = \frac{4\pi(s^2)^2}{\lambda^2} = \frac{4\pi(1^2)^2}{0,1236^2} = 822,45 \quad (15)$$

Dengan asumsi jarak antenna pengirim dengan target, R_t dan jarak antara target dengan antenna penerima, R_r adalah sama, $R_t = R_r = R$ dan untuk memasukkan nilai *gain* pemancar, G_{tx} dan *gain* penerima, G_{rx} USRP dalam perhitungan *power link budget*, maka daya terima P_r adalah

$$P_r = \frac{P_t G_{tx} G_t G_{rx} G_r \lambda^2 \sigma n_p}{(4\pi)^3 R^4 L_s} \tau \beta \quad (16)$$

Hasil perhitungan *power link budget* menunjukkan bahwa daya terima P_r masih mencukupi untuk target yang terletak pada jarak 100 m, namun karena ada daya sidelobe antenna yang lebih besar daripada daya echo maka jarak maksimal target yang dapat dideteksi menjadi lebih pendek dari jika tidak ada daya sidelobe antenna.



Gambar 3.16 Perhitungan Link Budget

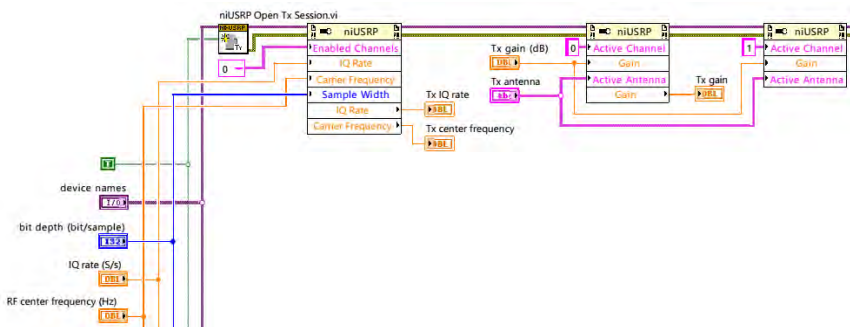
3.4.4 Perancangan Sistem

3.4.4.1 Sub Sistem Pengirim

Sub sistem pengirim terdiri atas pengaturan perangkat keras USRP serta penulisan (*write*) data ke USRP yang dibuat pada perangkat lunak LabVIEW. Parameter dasar yang diatur meliputi

- IP Address perangkat keras USRP, alamat IP yang diketikkan pertama akan menjadi urutan *channel* pertama
- pengaturan *channel* yang aktif pada channel 0
- pengaturan *port* antenna pada *port* TX1/RX1
- *gain* pengiriman
- frekuensi kerja, dan
- IQ *sample rate* yang digunakan.

Visualisasinya bisa terlihat seperti gambar 3.17 berikut. Sebagai tambahan, terkadang dibutuhkan untuk mendefinisikan berapa besar frekuensi *Local Oscillator* (LO). Pendefinisian ini berguna agar LO USRP dapat bekerja sesuai dengan frekuensi yang diharapkan. Namun pendefinisian LO ini tidak selamanya harus dilakukan karena dengan kita mengatur frekuensi kerja USRP maka LO USRP akan secara otomatis bersilasi pada frekuensi kerja tersebut. Jika kita ingin mendefinisikan LO maka sebagai inputan adalah frekuensi kerja ditambah setengah IQ Rate sistem.

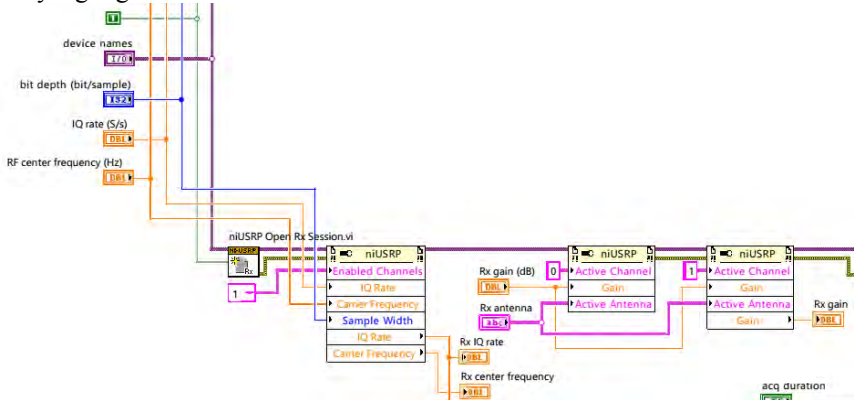


Gambar 3.17 Sub Sistem Pengirim

3.4.4.2 Sub Sistem Penerima

Sub sistem penerima terdiri atas bagian pengaturan perangkat keras USRP sub sistem penerima dan pengambil (*fetch*) data dari USRP.

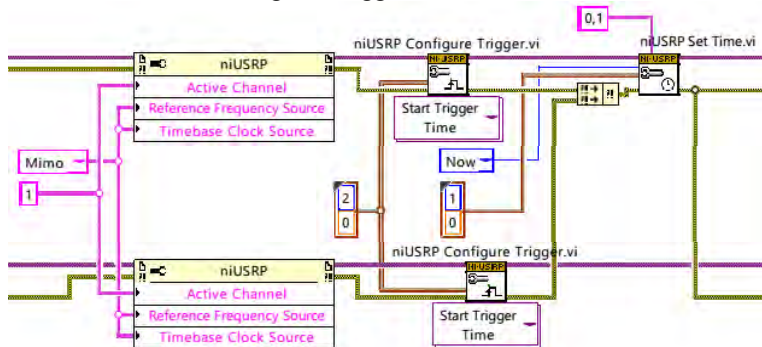
Gambar 3.18 menunjukkan diagram blok dasar dari sub sistem penerima. Parameter yang diatur meliputi IP Address perangkat keras USRP, pengaturan *channel* yang aktif pada *channel 1*, pengaturan *port* antenna pada *port RX2*, *gain* penerimaan, frekuensi kerja, dan IQ *sample rate* yang digunakan.



Gambar 3.18 Sub Sistem Penerima

3.4.4.3 Sub Sistem Pengaturan Waktu dan sinkronisasi

Pengaturan waktu dan sinkronisasi bertujuan untuk mensinkronisasi dua unit USRP yang digunakan. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa sub sistem pengirim dan penerima mulai aktif / bekerja secara simultan / serentak. Pada praktiknya sinkronisasi dua unit USRP bisa dilakukan dengan menggunakan kabel MIMO.



Gambar 3.19 Sub Sistem Pengaturan Waktu dan Sinkronisasi

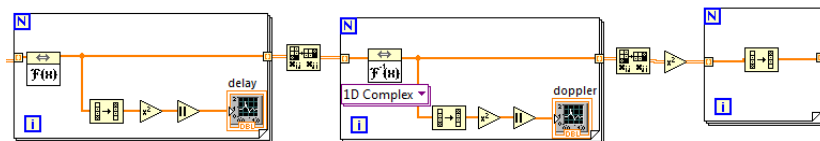
Pada USRP, perangkat yang terhubung ke *host* PC diatur berdasarkan pada urutan *IP Address* yang dimasukkan ke niUSRP Open Tx Session.vi. *IP Address* perangkat yang dimasukkan pertama didefinisikan dengan nama *channel 0*, *IP Address* perangkat urutan kedua didefinisikan dengan nama *channel 1*, dan seterusnya.

Pengaturan sinkronisasi dilakukan pada *channel 1* dengan menggunakan *channel 0* sebagai acuan / sumber *clock* waktu (*timebase clock source*) dan acuan / sumber frekuensi referensi (*reference frequency source*) atau bisa juga dilakukan sebaliknya. Apabila sinkronisasi dua unit USRP dilakukan dengan menggunakan kabel MIMO, maka masukan untuk *timebase clock source* dan *reference frequency source* adalah “Mimo”.

Pengaturan waktu dimulainya proses pengiriman dan penerimaan sinyal dilakukan melalui pengaturan Start Trigger time.vi dan Set time.vi. Set time.vi digunakan untuk melakukan pengaturan waktu perangkat USRP. Sedangkan Set Trigger time.vi digunakan untuk menentukan waktu dimulainya sub sistem pengirim dan penerima dengan mengacu pada waktu perangkat USRP. Pada diagram blok program LabVIEW, pengaturan waktu *trigger* harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pengaturan waktu USRP. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan definisi waktu dimulainya sub sistem pengirim dan penerima dilakukan terlebih dahulu sebelum terjadinya pengaturan waktu USRP. Selain itu, waktu yang dimasukkan pada Set Trigger time.vi harus lebih besar atau sama dengan waktu yang dimasukkan pada Set time.vi untuk memastikan proses pengiriman dan penerimaan dimulai setelah proses pengaturan waktu USRP. Gambar sebelumnya adalah diagram blok LabVIEW untuk pengaturan *channel* dua unit USRP yang terhubung dengan kabel MIMO dengan *channel 0* sebagai sumber *clock* waktu dan frekuensi referensi serta penerapan Set Trigger time.vi dan Set time.vi sesuai dengan penjelasan di atas.

3.4.4.4 Sub Sistem Pengolahan Sinyal

Pada sub sistem pengolahan sinyal dilakukan pengolahan sinyal dengan pemrosesan periodogram seperti bisa dilihat seperti pada gambar 3.20 di bawah ini. Ada operasi FFT per simbol OFDM sejumlah banyaknya subcarrier yang didefinisikan. Selain itu ada juga operasi IFFT per subcarrier sejumlah banyaknya simbol OFDM yang dirancang.



Gambar 3.20 Subsistem Pengolahan Sinyal dengan Memanfaatkan Pemrosesan Berdasar Simbol dengan Periodogram

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan dan analisis data berdasarkan simulasi dan pengukuran sistem radar OFDM dengan berbagai skenario yang telah dibuat.

4.1 Kemampuan Radar dalam Mengukur Jarak dan Kelajuan Target (Pada Simulasi)

Pada bandwidth 20 MHz, dengan N_c sebanyak 512 dan M sebanyak 128 didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 4.1 Hasil Deteksi Jarak Pada Simulasi

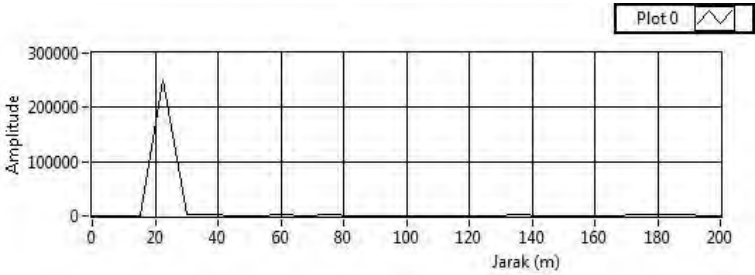
Delay (ns)	Jarak Seharusnya (m)	Jarak Terbaca (m)
16	2,4	0
25	3,75	0
34	5,1	0
50	7,5	0
67	10,05	0
74	11,1	0
75	11,25	7,5
84	12,6	7,5
100	15	7,5
117	17,55	7,5
125	18,75	7,5
126	18,9	15
134	20,1	15
150	22,5	15
167	25,05	15
174	26,1	15
175	26,25	22,5
200	30	22,5

(lanjutan Tabel 4.1 Hasil Deteksi Jarak pada Simulasi)

Delay (ns)	Jarak Seharusnya (m)	Jarak Terbaca (m)
217	32,55	22,5
226	33,9	30
234	35,1	30
250	37,5	30
267	40,05	30
275	41,25	37,5



(a)



(b)

Gambar 4.1 (a) Hasil Deteksi Jarak pada Simulasi; (b) Deteksi Jarak Target pada Periodogram 2D pada skenario 26,25 m

Pada skenario target 11,1 m (delay 74 ns), jarak target seharusnya terbaca 11,1 m namun jarak target yang terbaca adalah nol meter. Dapat diketahui bahwa jarak minimum target dapat dideteksi adalah 11,25 m. Untuk target berikutnya, jarak target harus berada di 7,65 meter, setelah itu berada di 7,35 meter berikutnya. Dengan pemrosesan berdasar simbol, walau hanya satu target yang diukur haruslah berada di jarak minimum ditambah kelipatan resolusi jarak, hal ini diakibatkan oleh karena satu simbol modulasi mewakili satu waktu yang juga merepresentasikan jarak tertentu. Dari grafik terlihat jelas bahwa semakin lama delay echo dari kelipatan periode simbol maka hasil deteksi semakin buruk hingga delay mencapai setara kelipatan resolusi jarak akan membaik lagi. Ketika delay hampir mendekati periode simbol maka kesalahan pembacaan akan menjadi yang paling besar. Namun ketika delay tepat setara kelipatan periode simbol maka pembacaan akan menunjukkan nilai yang paling mendekati jarak yang seharusnya terukur. Sebagai catatan, yang dimaksud jarak hasil deteksi di sini adalah puncak sinyal.

4.2 Kemampuan Radar Mendeteksi Kelajuan (Pada Simulasi)

Pada bandwidth 20 MHz dengan N_c sebanyak 512 dan M sebanyak 128 didapatkan hasil sebagai berikut

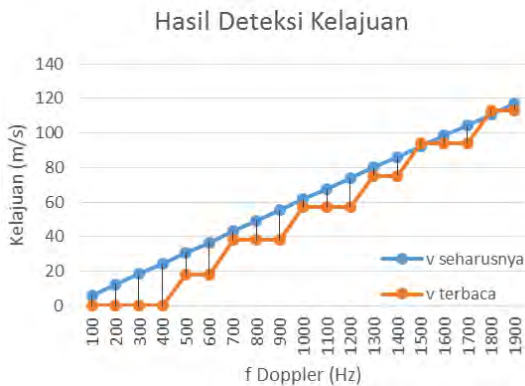
Tabel 4.2 Hasil Deteksi Kelajuan pada Simulasi

f Doppler (Hz)	v aktual (m/s)	v terbaca (m/s)
100	6,15	0
200	12,3	0
300	18,45	0
400	24,6	0
500	30,75	18
600	36,69	18
700	43,05	38
800	49,2	38
900	55,35	38
1000	61,5	57

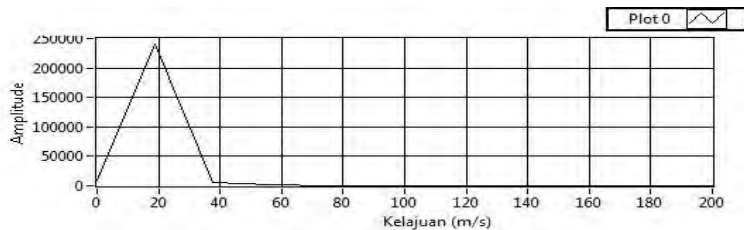
(lanjutan Tabel 4.2 Hasil Deteksi Kelajuan pada Simulasi)

f Doppler (Hz)	v aktual (m/s)	v terbaca (m/s)
1100	67,65	57
1200	73,8	57
1300	79,95	75
1400	86,1	75
1500	92,25	94
1600	98,4	94
1700	104,55	94
1800	110,7	113
1900	116,85	113

Dari grafik 4.2 (a) di bawah ini, saat frekuensi Doppler 400 Hz seharusnya pembacaan menunjukkan kelajuan 24,6 m/s namun yang terbaca adalah 0 m/s. Dapat diketahui bahwa kelajuan minimum target yang dapat dideteksi adalah 25 m/s atau setara frekuensi Doppler 408 Hz. Untuk target berikutnya, selisih kelajuan harus sebesar kurang lebih 19 m/s. Kembali lagi, dengan pemrosesan berdasar simbol, satu urutan subcarrier yang sama mewakili frekuensi Doppler tertentu yang juga merepresentasikan kelajuan tertentu sesuai dengan kelipatan resolusi kelajuan. Sebagai catatan, yang dimaksud dengan v terukur di sini adalah puncak sinyal yang terbaca.



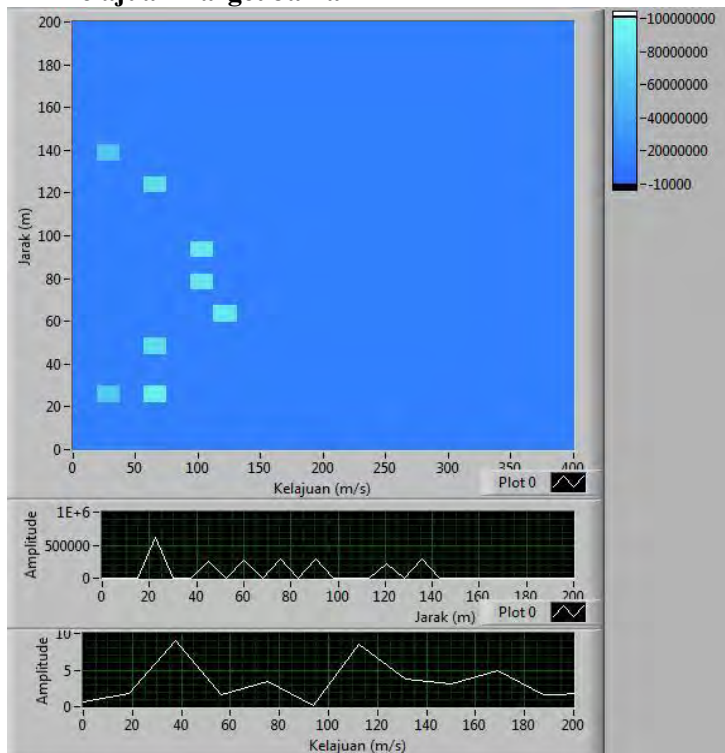
(a)



(b)

Gambar 4.2 (a) Hasil Deteksi Jarak pada Simulasi; (b) Kenampakan Deteksi Kelajuan pada 30,75 m/s (f Doppler 500 Hz) di 2D periodogram

4.3 Kemampuan Radar dalam Mengukur Jarak dan Kelajuan Target Jamak

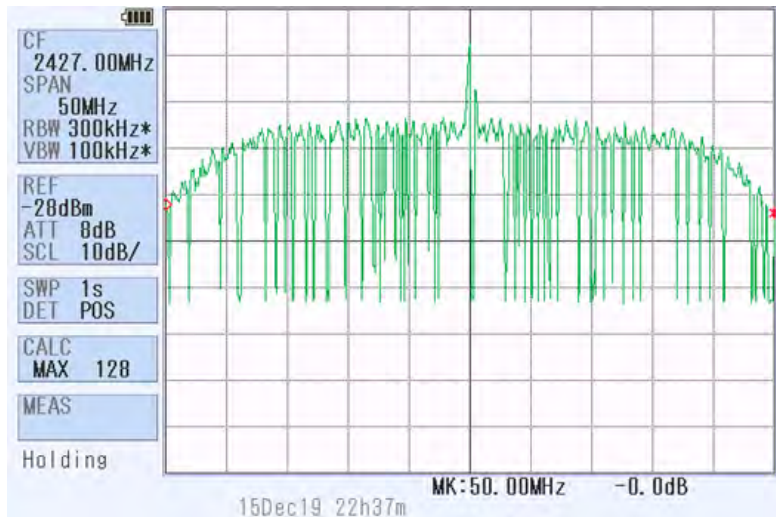


Gambar 4.3 Hasil Pembacaan Target Jamak

Gambar 4.4 menunjukkan hasil pembacaan 8 target (r: {26,25; 26,25; 127,25; 67,5; 52,5; 82,5; 97,5; 142,5}m); (v: {30,75; 67,65; 67,65; 116,85; 67,65; 98,4; 98,4; 30,75}m/s). Dengan 3D periodogram, untuk membedakan lebih dari satu target yang berbeda lebih mudah dilakukan dibandingkan dengan menggunakan 2D periodogram sehingga lebih dapat diandalkan untuk deteksi target jamak.

4.4 Pembangkitan Sinyal OFDM

Untuk melihat apakah sinyal OFDM sudah bisa dibangkitkan dan sudah ditransmisikan transmitter maka digunakanlah spectrum analyzer guna mengetahui adakah sinyal yang dibangkitkan pada frekuensi yang dirancang, yaitu di frekuensi 2,427 GHz dengan IQ rate sebesar 50 MSps.



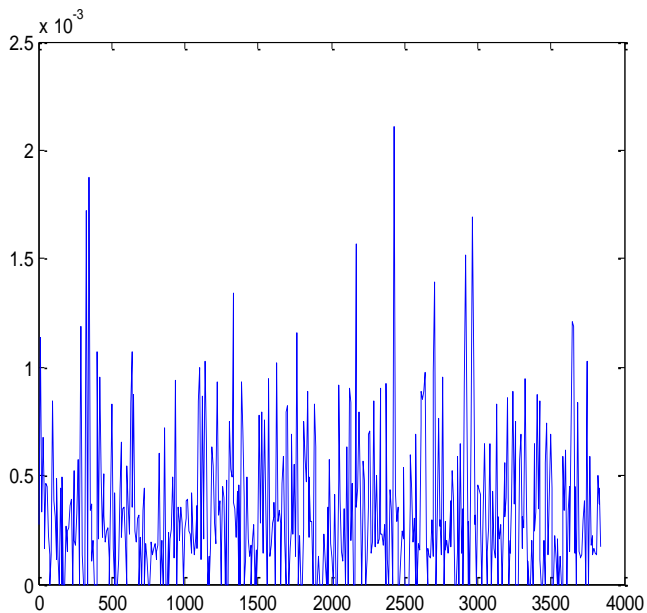
Gambar 4.4 Spektrum sinyal OFDM terbangkitkan

4.5 Kemampuan Radar Mendeteksi Jarak (Pengukuran)

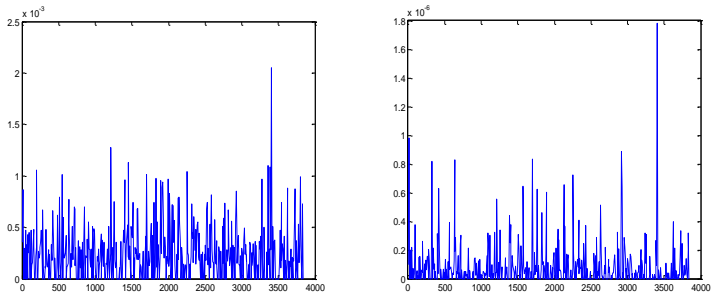
Pada pengukuran bandwidth dijaga pada bandwidth 20 MHz dengan N_c sebanyak 512 dan M sebanyak 128. N_c diturunkan menjadi 512 agar dapat mengakomodasi transmisi data dari PC ke USRP yang tidak stabil. Sering dijumpai bahwa saat pengukuran data yang diterima receiver tidak mencapai satu frame OFDM sehingga tidak bisa diolah. Hal ini kemungkinan diakibatkan oleh *latency* Gigabit Ethernet yang dapat mencapai 1000 ms.

Dari sepuluh kali pengambilan data tidak didapatkan hasil yang akurat mengenai profil jarak target yang terdeteksi. Oleh karena itu dilakukanlah metode tambahan untuk mengetahui profil jarak target. Metode tersebut adalah dibuatnya *threshold* untuk memfilter noise yang kecil dan dilanjutkan operasi perkalian antar pengambilan data/pengukuran (untuk setiap jarak target yang telah diukur diambil data sebanyak minimal 10 kali). Data yang didapat masih banyak kemungkinan, sehingga antar jarak perlu diperbandingkan. Antar jarak haruslah ada yang sama atau beda senilai satu resolusi.

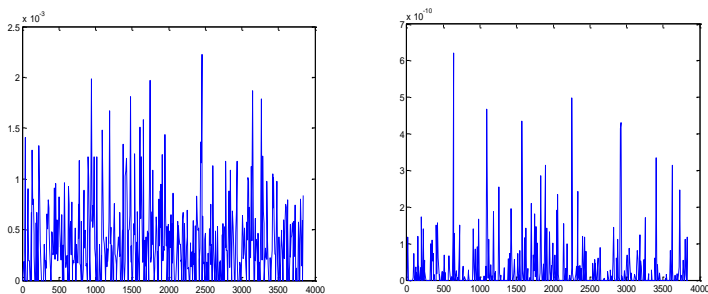
Berikut ini adalah sepuluh kali pengambilan data pemrosesan dan metode *threshold* dengan perkalian sinyal berkelanjutan untuk pengukuran target jarak 15 m. Sumbu x mewakili jarak dalam satuan meter dan sumbu y mewakili amplitudo sinyal. Gambar sengaja kecil karena hanya untuk menunjukkan perubahan yang terjadi dari yang awalnya banyak kemungkinan karena banyak puncak menjadi lebih sedikit data yang memungkinkan.



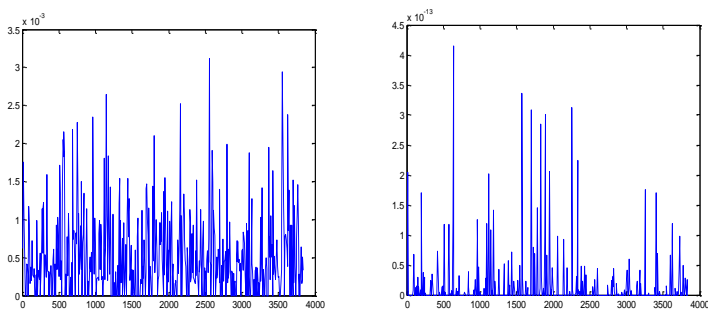
Gambar 4.5 Pengambilan Data Pertama



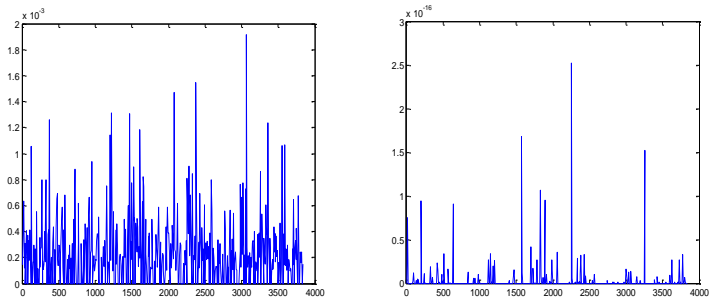
Gambar 4.6 Pengambilan Data Kedua (kiri) dan Perkalian Pertama (kanan)



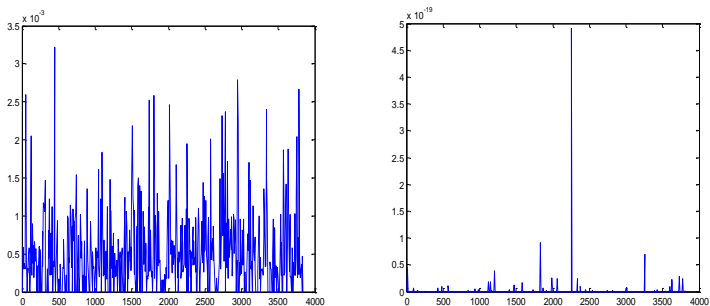
Gambar 4.7 Pengambilan Data Ketiga (kiri) dan Perkalian Kedua (kanan)



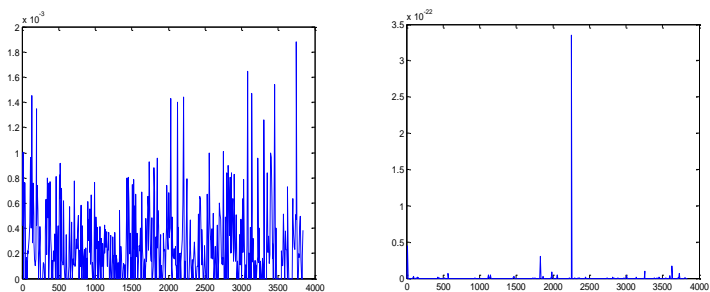
Gambar 4.8 Pengambilan Data Keempat (kiri) dan Perkalian Ketiga (kanan)



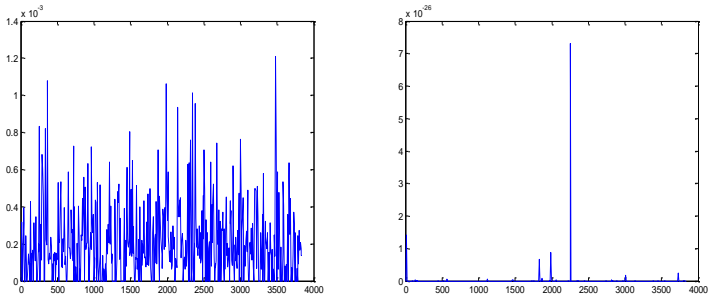
Gambar 4.9 Pengambilan Data Kelima (kiri) dan Perkalian Keempat (kanan)



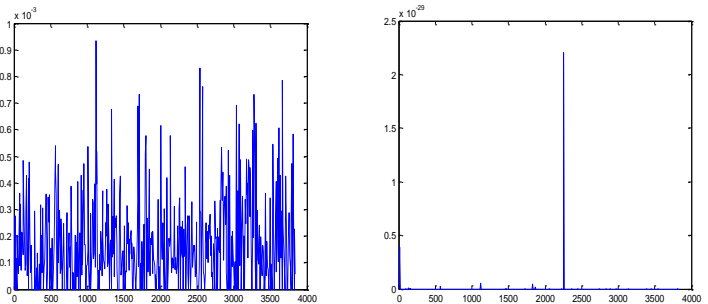
Gambar 4.10 Pengambilan Data Keenam (kiri) dan Perkalian Kelima (kanan)



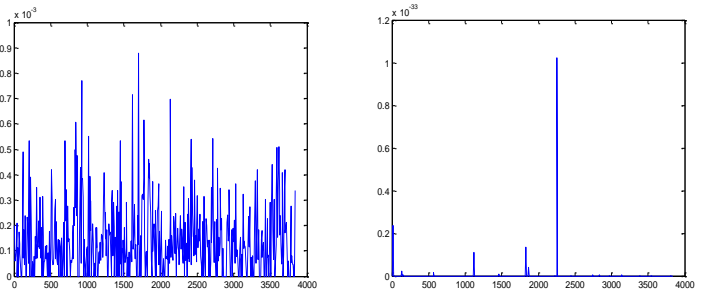
Gambar 4.11 Pengambilan Data Ketujuh (kiri) dan Perkalian Keenam (kanan)



Gambar 4.12 Pengambilan Data Kedelapan (kiri) dan Perkalian Ketujuh (kanan)



Gambar 4.13 Pengambilan Data Kesembilan (kiri) dan Perkalian Kedelapan (kanan)



Gambar 4.14 Pengambilan Data Kesepuluh (kiri) dan Perkalian Kesembilan/Terakhir (kanan)

Kemungkinan hasil deteksi pengukuran jarak 0 m (lintasan langsung):
67,5 ;82,5 ;112,5 ;187,5 ;315 ;337,5 ;465 ;517,5 ;555 ;585 ;675 ;750
;765 ;780 ;967,5 ;1065 ;1155 ;1230 ;1260 ;1305 ;1365 ;1417,5 ;1522,5
;1567,5 ;1605 ;1665 ;1680 ;1695 ;1807,5 ;1875 ;1987,5 ;2040 ;2062,5
;2085 ;2280 ;2362,5 ;2377,5 ;2392,5 ;2565 ;2662,5 ;2700 ;2730 ;2820
;2895 ;3060 ;3172,5 ;3195 ;3247,5 ;3487,5 ;3570 ;3600 ;3787,5 meter

Kemungkinan hasil deteksi pengukuran jarak 7,5 m:
75 ;135 ;187,5 ;255 ;337,5 ;367,5 ;660 ;697,5 ;712,5 ;735 ;757,5 ;795
;892,5 ;990 ;1125 ;1380 ;1695 ;2025 ;2310 ;2377,5 ;2482,5 ;2497,5
;2572,5 ;2752,5 ;2827,5 ;2842,5 ;3142,5 ;3270 ;3375 ;3525 ;3622,5
;3727,5 meter

Kemungkinan hasil deteksi pengukuran jarak 15 m:
15; 30 ;75 ;135 ;150 ;255 ;487,5 ;570 ;840 ;945 ;1117,5 ;1237,5 ;1462,5
;1530 ;1830 ;1867,5 ;1950 ;1972,5 ;2070 ;2122,5 ;2190 ;2227,5 ;2257,5
;2347,5 ;2362,5 ;2437,5 ;2490;2595 ;2617,5 ;2692,5 ;2745 ;2827,5
;2865;2887,5;2970 ;3000 ;3022,5 ;3037,5 ;3082,5 ;3142,5 ;3195 ;3345
;3390 ;3547,5 ;3772,5 ;3810 meter

Dari kemungkinan hasil deteksi pengukuran jarak 0; 7,5 ;15 meter diambil data yang sama atau selisih satu resolusi sehingga didapatkan hasil target yang terletak 0 m terbaca pada 67,5 m; target yang terletak 7,5 m terbaca pada 75 m; target yang terletak 15 m terbaca pada 75 m. Sehingga kita bisa menentukan kompensasi delay perangkat berdasarkan hasil pembacaan target yang berada pada 0 m (lintasan langsung) yaitu sebesar 450 ns atau setara 67,5 meter.

Setelah kompensasi maka hasil deteksi jarak target yang terletak pada jarak 0; 7,5; dan 15 m adalah 0; 7,5; dan 7,5 m. Hasil deteksi jarak target yang terletak pada jarak 15 m terbaca 7,5 m masih bisa dianggap benar berdasarkan persamaan (12) dimana pengukuran radar dikatakan *error* jika selisih pembacaan yang seharusnya dengan yang terbaca melebihi resolusi, dimana diketahui resolusi jarak sistem radar yang dibuat pada tugas akhir ini adalah 7,5 m.

4.6 Kemampuan Radar Mendeteksi Kelajuan (Pengukuran)

Pada pengukuran kelajuan bandwidth tetap dijaga selebar 20 MHz dengan Nc sebanyak 512 dan M sebanyak 128. Sama seperti pada kasus

pengukuran deteksi jarak, pada pengukuran kelajuan tidak dapat dilakukan karena data yang diterima receiver tidak mencapai satu frame. Sementara untuk mengolah informasi kelajuan target dibutuhkan data minimal satu frame.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian, kesimpulan yang dapat diperoleh adalah:

1. Radar OFDM dapat mengukur jarak target. Dengan pemrosesan berdasar simbol, satu simbol modulasi pada subcarrier ke n mewakili jarak tertentu setara dengan kelipatan resolusi jarak. Dibuktikan dengan simulasi dan pengukuran.
2. Radar OFDM dapat mengukur kelajuan target. Dengan pemrosesan berdasar simbol, satu subcarrier yang berada pada simbol OFDM ke n mewakili kelajuan tertentu, setara dengan kelipatan resolusi kelajuan. Dibuktikan dengan simulasi.
3. Dengan 3D periodogram bisa lebih baik dalam mengukur jarak dan kelajuan target jamak. Di simulasikan hingga 8 target betul terukur.
4. Kinerja Radar OFDM yang baik sulit dicapai karena keterbatasan perangkat SDR USRP NI 2922/N210

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

1. Untuk radar yang mengirimkan sinyal yang berjumlah banyak sebaiknya menggunakan spesifikasi SDR yang lebih tinggi dimana aliran data dapat mengalir dengan lebih cepat dan lancar contohnya dengan menggunakan USRP RIO dengan PCI Express Card yang latency-nya lebih kecil daripada USRP seri NI 2922 atau N210 dengan Gigabit Ethernet-nya yang latencynya jauh lebih tinggi
2. Penggunaan perangkat *host* PC dengan spesifikasi yang lebih tinggi juga untuk mendapatkan kecepatan penulisan data yang lebih cepat, pemrosesan yang lebih cepat, dan data pengukuran yang lebih banyak.
3. Bisa digabungkan dengan sistem MIMO untuk mengetahui dimana arah target.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wiesbeck, W., "The radar of the future," *Radar Conference (EuRAD), 2013 European*, vol., no., pp.137,140, 9-11 Oct. 2013
- [2] C. Sturm, T. Zwick, W. Wiesbeck, "An OFDM System Concept for Joint Radar and Communications Operations," IEEE 69th Vehicular Technology Conference, Barcelona, April 2009.
- [3] Sturm, C.; Braun, M.; Zwick, T.; Wiesbeck, W., "A multiple target doppler estimation algorithm for OFDM based intelligent radar systems," *Radar Conference (EuRAD), 2010 European*, vol., no., pp.73,76, Sept. 30 2010-Oct. 1 2010.
- [4] G. E. A. Franken, H. Nikookar, P. van Genderen, "Doppler tolerance of OFDM coded Radar Signals, Proc. 3rd European Radar Conference, pp. 108 – 111, Manchester, Sept. 2006.
- [5] ---, "Software Defined Radio (SDR)", http://www.len.co.id/len_web/artikel_detail/?mg%3D%3D, diakses pada 11/3/2015 pukul 15:13 WIB.
- [6] Goldsmith, A. "Wireless Communications". Stanford University. 2004.
- [7] C. Sturm, E. Pancera, T. Zwick, and W. Wiesbeck, "A Novel Approach to OFDM Radar Processing," Radar Conference, IEEE, May 2009.
- [8] C. Sturm, M. Braun, T. Zwick, and W. Wiesbeck, "Performance Verification of Symbol-Based OFDM Radar Processing," Radar Conference, IEEE International, 2010.
- [9] C. Sturm, M. Braun, T. Zwick, and W. Wiesbeck, "A Multiple Target Doppler Estimation Algorithm for OFDM based Intelligent Radar Systems," 7th European Radar Conference, 2010.
- [10] Wiesbeck, W., "System Concepts for the Radar of the Future," *Telecom Paris, KIT-University of The State of Baden-Wuerttemberg and Natioanal Research Center of The Helmholtz Association*, 6 March 2014

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Rizky Hidayat Prasetyo
Nomor Pokok : 2211 100 084
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Ganjil TA 2015/2016
Dosen Pembimbing : I. Prof. Ir. Gamantyo Hendranoro, M.Eng. Ph.D.

16 SEP 2015

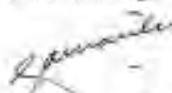
Judul Tugas Akhir : **Rancang Bangun Sistem Radar OFDM Berbasis SDR (Software-Defined Radio)**
Design Implementation of SDR-Based OFDM Radar System

Uraian Tugas Akhir :

Pengembangan berbagai macam radar diperlukan guna memenuhi kebutuhan radar yang semakin beragam. Sistem radar dengan menggunakan teknik sinyal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) memungkinkan terjadinya penginderaan radar dan fungsi komunikasi lain dalam satu sistem secara bersamaan. Hal ini memberi peluang untuk melakukan fungsi radar dengan target jamak.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perancangan sistem radar OFDM dengan basis SDR, lebih tepatnya dengan menggunakan USRP (*Universal Software Radio Peripheral*). Pada tugas akhir ini akan meneliti kemungkinan penggunaan radar OFDM untuk penginderaan terhadap target jamak. Pada tugas akhir ini hal yang menjadi konsentrasi penelitian adalah pengukuran jarak dan kelajuan dari target jamak dan belum mempertimbangkan arah kedatangannya.

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. Gamantyo Hendranoro, M.Eng. Ph.D.

Nip : 197011111993031002

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua,



Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.

Nip : 197002121995121001

Menyetujui,
Teknik Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,



Dr. Ir. Endrovoono, DEA

Nip : 196504041991021001

Dokumentasi Pengukuran



BIOGRAFI PENULIS



Rizky Hidayat Prasetyo, putra keempat dari empat bersaudara, pasangan Subardi (alm) dan Sri Sujadmi. Lahir di Salatiga, 1 April 1993. Memulai pendidikan formal di SDN Dukuh 1 Salatiga, dilanjutkan di SMP Negeri 1 Salatiga, serta SMA Negeri 1 Salatiga. Lulus dari pendidikan menengah atas pada tahun 2011 kemudian melanjutkan pendidikannya di S-1 Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan memilih kekhususan bidang studi Telekomunikasi Multimedia.

Selama kuliah tidak hanya aktif di kampus namun juga aktif di beberapa organisasi diantaranya adalah Gamasura, Studi Grup Sepuluh Nopember (SG-10), GPU, MM Suteng, dan MM KG.

email: rhprasetyos@gmail.com / p.rizky.hidayat11@mhs.ee.its.ac.id